Photo de la couverture: peuplement naturel d'*Acacia raddiana* à M'bidi, Sénégal, par Christel Palmberg.

Etudes sur les volumes et la productivité des peuplements forestiers tropicaux

1. Formations forestières sèches

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorites, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites

M-35

ISBN 92-5-202184-1

PREFACE

Ce rapport s'inscrit dans le cadre du programme de travail de la FAO sur l'estimation des volumes et de la productivité des formations forestières tropicales. Il fait partie d'un jeu de trois publications traitant respectivement de l'accroissement et de la production des forêts denses humides, des formations forestières sèches et des plantations.

La préparation de ce document sur l'estimation des volumes et de la productivité des formations forestières sèches a été coordonnée par M. K.D. Singh, fonctionnaire principal à la sous-division de la mise en valeur des ressources forestières et a commencé en 1981. Quatre experts ont alors été recrutés afin de passer en revue les documents traitant de ce sujet dans les différentes parties du monde: MM. J.O. Abayomi de l'Institut de recherches forestières d'Ibadan (Nigéria) pour l'Afrique anglophone, J. Clément du Centre technique forestier tropical (France) pour l'Afrique francophone, S.P. Singh de l'Institut de recherches forestières de Dehra Dun (Inde) pour l'Asie tropicale et G. Lund du Service forestier des Etats-Unis pour l'Amérique latine. A partir des quatre études, M. F. Guinaudeau, professeur de dendrométrie et d'inventaire à l'Ecole nationale des ingénieurs des travaux des eaux et forêts (France), a préparé ce rapport en y intégrant sa propre expérience. La FAO remercie ces cinq spécialistes pour la qualité de leur contribution.

Ce rapport sera certainement très utile pour les forestiers, ingénieurs et techniciens, exerçant leur activité dans les régions sèches qu'ils soient des chercheurs ou des praticiens désireux d'asseoir l'aménagement forestier sur des bases valables.

Ces derniers trouveront ici résumées les données actuellement disponibles tout en prenant conscience du degré de précision et des limites d'application des modèles proposés.

J.P. Lanly
Directeur
Division des ressources forestières
Département des forêts

SOMMAIRE

REVUE DES ETUDES EFFECTUEES ET DES RESULTATS ACQUIS

TABLE DES FIGURES ET GRAPHIQUES

1 - OBJET DE L'ETUDE

11 - Formations végétales concernées -

Dans le document de synthèse de la F.A.O. "Les ressources forestières tropicales", le problème de la classification des formations végétales est abordé d'une manière très claire. Le choix qui avait été fait dans le cadre de cette synthèse mondiale a consisté à privilégier la classification de l'U.N.E.S.C.O. tout en utilisant une dénomination symbolique différente.

Dans ce système les formations concernées par la présente étude sont référencées des deux manières suivantes :

- NHc/NHO "Formations arborées feuillues mixtes forestières et graminéennes avec une strate herbacée continue et fournie dans lesquelles la synusie arborée couvre plus de 10 % de la surface au sol."

Ceci inclut notamment les savanes boisées et les forêts claires au sens de la classification de Yangambi. Un cas particulier à souligner est celui des forêts sèches du sous-continent Indien difficiles à classer dans la classification de Yangambi qui a plutôt été conçue pour l'Afrique mais qui, du fait de la présence d'une strate herbacée fournie et continue, entrent bien dans cette catégorie NHc/NHO.

- n "Formation dont l'élément ligneux est constitué essentiellement d'arbustes et d'arbrisseaux (fourrés, savanes arbustives)".

12 - Caractères communs à ces formations -

Ces formations se trouvent dans les régions tropicales sèches (pluviométrie inférieure à 1500 mm).

- Elles constituent un potentiel à l'hectare en bois d'oeuvre faible par rapport aux autres formations forestières.

- Elles sont mal connues sur le plan des volumes disponibles et de leur accroissement car peu d'effort a été consacré jusqu'à maintenant à leur étude.

- Elles constituent une source d'approvisionnement en bois de service et surtout en bois de feu vitale pour les habitants de ces régions.

- La morphologie des arbres et arbustes oblige à adapter les méthodes dendrométriques classiques à la fois sur le plan de l'échantillonnage et de la prise des mesures elles-mêmes.

13 - Objectifs du rapport -

Le premier objectif est de décrire, en complément des ouvrages de base existants et notamment les études 22 et 27 de la F.A.O. (1) quelles sont les difficultés rencontrées dans l'application des méthodes dendrométriques classiques et les adaptations que l'on peut proposer pour pallier ces difficultés. On abordera successivement dans l'examen des problèmes dendrométriques :

- l'échantillonnage et la stratification
- les mesures sur placettes et sur arbres
- l'élaboration de modèles de croissance et de production

Les méthodes de photo-interprétation ne sont pas abordées dans le présent rapport.

(1) - Etude 22 : Estimation des volumes et accroissements des peuplements forestiers en deux volumes par CAILLIEZ et ALDER
- Etude 27 : Manuel d'inventaire forestier

Le deuxième objectif est de présenter d'une manière synthétique les résultats obtenus dans différentes études pour tenter de mettre en évidence la cohérence qui existe entre ces résultats. Même si la rareté des informations précises et fiables dans ce domaine empêche de faire actuellement une synthèse satisfaisante, on doit s'efforcer de poser les premiers jalons dans cette direction.

14 - Public auquel il est destiné -

Ce rapport est destiné aux forestiers, techniciens ou ingénieurs, exerçant leur activité dans des pays secs :

- soit concernés par la gestion et désireux d'asseoir cette gestion sur des données expérimentales recueillies par les organismes de recherche et de développement

- soit directement impliqués dans les actions de recherche et de développement

Les premiers trouveront les données actuellement disponibles et pourront prendre conscience du degré de précision et des limites d'application des modèles qui leur sont proposés. Tout gestionnaire doit conserver très présentes à l'esprit les méthodes employées pour construire les modèles qu'il utilise faute de quoi il risque de graves erreurs.

Les chercheurs trouveront une gamme de solutions proposées et déjà expérimentées par d'autres forestiers à travers le monde.

2 - METHODES D'INVENTAIRE ADAPTEES AUX FORMATIONS CONCERNEES

21 - Formulation du problème. Définition des objectifs -

Il existe dans le Manuel d'inventaire forestier de la F.A.O. un canevas général pour l'élaboration des plans d'inventaire. Ce canevas peut servir dans le cas des inventaires dans les régions où le bois de feu est prépondérant. On insistera plus particulièrement dans ce cas sur 3 points :

211 - Quels sont les besoins réels d'un inventaire ?

Un inventaire forestier est une opération longue et coûteuse qui demande à être justifiée. Dans le cadre des forêts denses tropicales la valeur commerciale de la ressource inventoriée suffit à justifier l'opération. Dans une forêt dont le produit principal est le bois de feu ou le bois de service une opération d'inventaire est pleinement justifiée chaque fois qu'il y a un risque de déséquilibre entre les besoins des populations et les ressources disponibles. Il faut absolument éviter la pénurie car la pression de la population devient alors tellement forte qu'il y a détérioration du milieu forestier.

Pour évaluer les besoins réels d'un inventaire dans une région il faut donc étudier les risques de pénurie et faire intervenir des études démographiques localisées ainsi que des études d'indices de surexploitation.

212 - Participation des consommateurs à l'élaboration des objectifs -

Cette participation se fera sous forme d'enquête auprès des utilisateurs. Ce sont eux qui peuvent apporter des informations sur :

- les usages en matière de répartition des coupes dans l'espace et dans le temps
- les critères (dimensions, espèces, etc...) permettant de distinguer les différentes catégories (bois d'oeuvre, bois de service, bois de feu)
- les méthodes de mesure légales et empiriques utilisées (empilage)

Ce sont les consommateurs qui peuvent également indiquer quels sont les critères qui permettent de distinguer les bois de service des bois de feu.

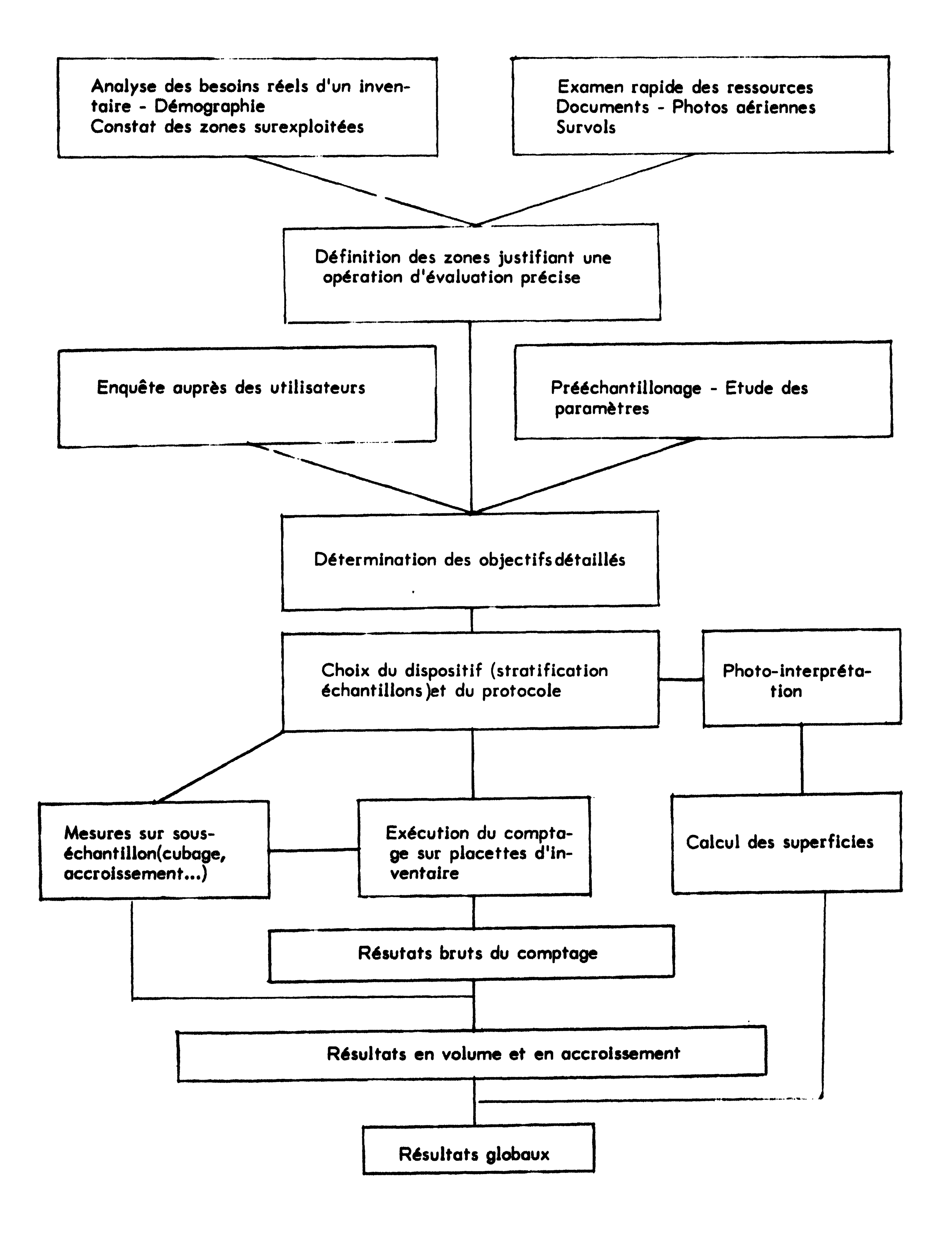
213 - Nature de l'information recherchée -

Tout inventaire forestier a pour objet principal de fournir le volume sur pied à un moment donné, réparti le cas échéant entre les différentes espèces et les différentes classes de grosseur. Mais cette information instantanée n'est pas suffisante pour l'aménagement des forêts, il faut y ajouter une connaissance de l'évolution de la forêt.

Ainsi dans une forêt tournée vers la production de bois d'oeuvre la connaissance de l'accroissement en diamètre des arbres permettra de fixer des seuils de diamètre pour l'exploitation et de contrôler ainsi les coupes en intensité et en périodicité.

Dans une forêt qui produit principalement du bois de feu, les coupes sont généralement des coupes rases et c'est la connaissance du rendement annuel moyen en volume (ou en poids) qui permettra d'en contrôler la périodicité.

214 - Organigramme de la planification d'un inventaire -



22 - Classification de la végétation -

221 - Description physionomique des principaux types -

Il a déjà été précisé que les formations concernées désignées NHc/NHO et n sont des formations avec présence de ligneux.

La distinction entre les deux types est essentiellement basée sur la hauteur des ligneux les plus hauts. Selon le critère de la classification U.N.E.S.C.O. c'est le seuil 5 mètres qui est retenu pour distinguer l'arbre de l'arbuste ; la formation n est essentiellement arbustive : moins de 10 % de couverture au sol par les arbres.

A l'intérieur du groupe NHc/NHO on distingue :

- les formations productives NHc/NHO 1 (forêt claire pour la classification U.N.E.S.C.O.) si le pourcentage de couverture du sol par la formation arborée dépasse 40 %.

- les formations improductives NHc/NHO 2 dans le cas contraire (prairie avec synusie arborée dans la classification U.N.E.S.C.O.)

La classification de Yangambi a l'avantage d'avoir été pratiquée depuis assez longtemps (1956) par les forestiers du continent Africain. Le vocabulaire leur est devenu familier et des schémas ont été associés depuis l'origine à chaque terme. Toutefois elle manque de précision en ce qui concerne les seuils. (Figure 1)

Il faut rappeler que dans cette classification la distinction entre savane et steppe est basée sur le parcours ou le non parcours par les feux, et que l'on passe graduellement de la forêt claire à la savane boisée puis arborée, puis arbustive, puis herbeuse.

Savane(ou steppe) arbustive s'apparente sans ambiguïté à la formation n.

Forêt claire s'apparente sans ambiguïté à NHc/NHO 1 (forêts ouvertes productives).

Savane (ou steppe) arborée et savane boisée s'apparenteraient à NHc/NHO 2 mais ici on doit reconnaître la fragilité de cette hypothèse.

Dans son rapport, SINGH S.P., propose un rapprochement entre cette classification et celle utilisée en Inde :

- Savane boisée	: stades dégradés de la forêt sèche décidue
Savanna woodland	*: degradation stages of dry deciduous forest*
- Savane arborée	: forêt d'épineux à prédominance d'Acacia
Tree savanna	*: thorn forest where Acacia predominate*
- Savane arbustive	: forêt d'épineux dégradée du fait des facteurs biotiques
Shrub savanna	*: thorn forest on degradation due to biotic factors*

222 - Critères dendrométriques associés à ces types -

Les différentes classifications sont nécessairement restées imprécises sur le plan dendrométrique. Les seuls seuils précis retenus sont :

- hauteur de 5 m limite entre arbre et arbuste
- pourcentage de couvert des arbres de moins de 10 % (non forêt) , entre 10 et 40 % (forêt ouverte improductive) et de plus de 40 % (forêt ouverte productive).

L'inventaire d'un peuplement permet de préciser de nombreuses caractéristiques : répartition des hauteurs, répartition des diamètres, volume à l'hectare, etc... Mais il y a encore beaucoup trop peu de données recueillies pour pouvoir les utiliser pour définir les

Figure 1

Diagrammes de la classification de YANGAMBI

Forêt claire — Woodland

Savane boisée — Savanna woodland

Savane arborée — Tree savanna

Savane arbustive — Shrub savanna

Savane herbeuse — Grass savanna

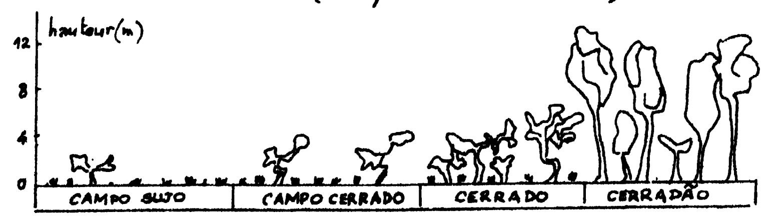
Steppe arborée et/ou steppe arbustive — Tree and/or shrub steppe

Steppe succulente — Succulent steppe

Steppe buissonnante — Dwarf shrub steppe

Steppe herbacée et/ou graminéenne — Grass and/or shrub steppe

Diagrammes des différents types de "cerrados" (d'après CARNEIRO)



types. Une tentative intéressante a été faite par CARNEIRO (1982) pour préciser le classement des formations "cerrados" au Brésil. On peut trouver en parallèle une terminologie, des schémas et des données chiffrées. C'est en multipliant les études de ce genre que l'on pourra mieux cerner la définition des types de végétation. Actuellement il faut se limiter aux seuls critères physionomiques qui sont ceux des classifications générales adoptées.

23 - Définition des caractères étudiés-

Un inventaire forestier vise essentiellement la détermination du volume. Toutefois dans le cas de bois de feu on peut y substituer la détermination du poids.

Il convient tout d'abord de préciser de quelle matière première il s'agit.

231 - La biomasse -

La biomasse correspond à la totalité de la matière végétale y compris les rameaux, les branches et les racines. Ce concept est particulièrement intéressant dans le contexte d'études scientifiques visant à comparer des formations différentes par leur climat ou leur végétation. Il peut sur le plan pratique être utilisé dans des régions où une exploitation mécanisée permet de convertir toute la matière végétale en énergie.

Par contre dans le cas des formations concernées par la présente étude cette notion reste théorique et il vaut mieux adopter une répartition de la matière première basée sur les usages locaux qui devront avoir fait l'objet d'une enquête particulière dans le cadre de l'opération d'inventaire.

232 - Critères de distinction entre les bois -

Dans le cadre des formations forestières sèches on partira du critère utilisation pour distinguer :

1 - bois destiné aux usages industriels = il s'agit ici essentiellement de bois d'oeuvre destiné aux usages nobles (sciage, placages), le bois de trituration n'étant mentionné que pour mémoire.

2 - bois destiné aux usages artisanaux : catégorie subdivisée en deux groupes :

- bois de service (construction habitation, usages agricoles ou de génie civil)
- bois de feu destiné soit directement, soit indirectement (charbon de bois ou centrale thermique) à la production d'énergie.

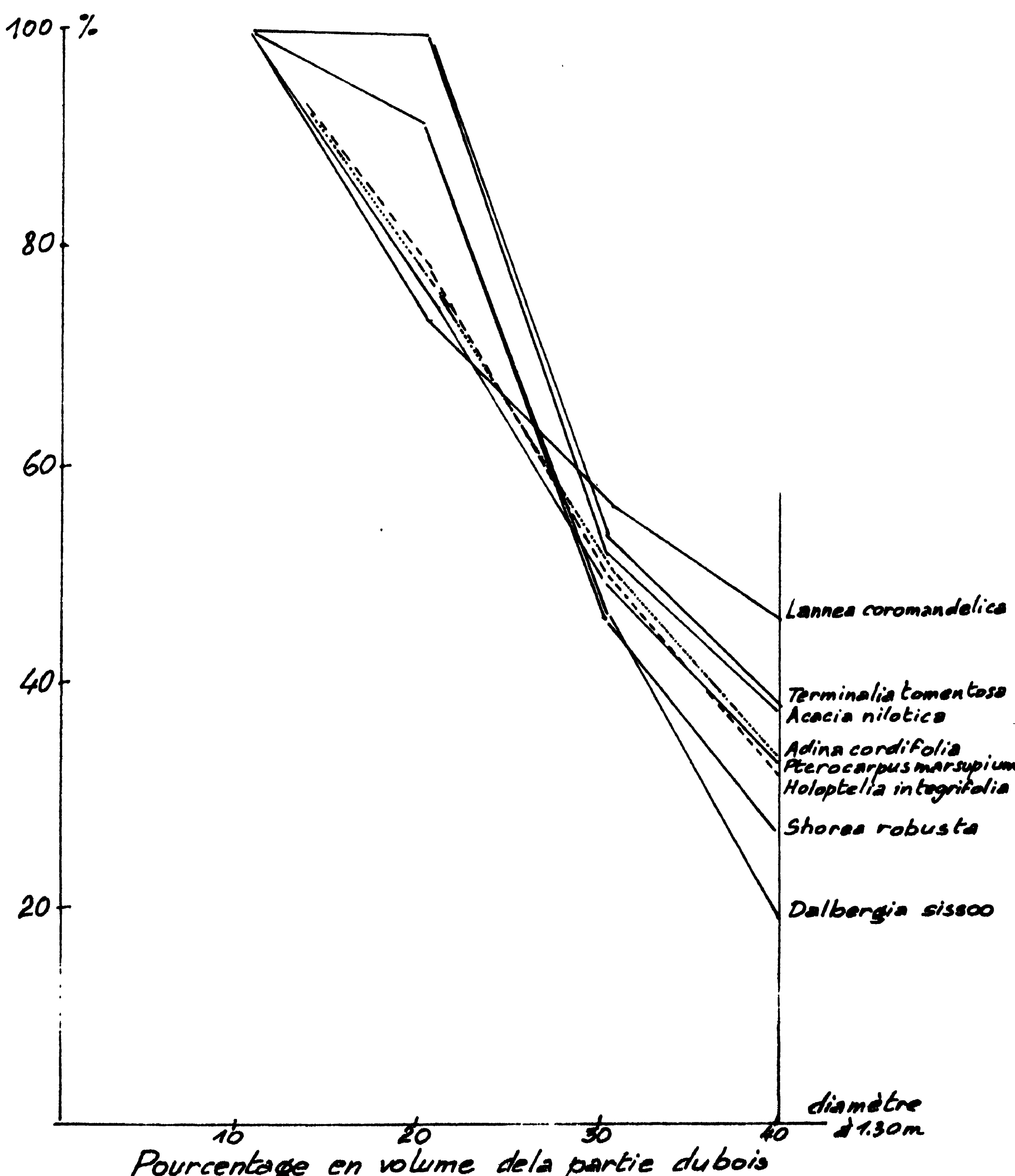
Il faut souligner que dans la plupart des forêts, il est normal de trouver plusieurs catégories et il faut donc que ceci soit prévu dans la planification de l'inventaire pour qu'une ventilation soit faite.

En Inde une distinction simple est faite selon le critère dimension-découpe entre le bois d'oeuvre (diamètre sur écorce > 20 cm) et petit bois (diamètre compris entre 5 et 20 cm).

Comme le souligne SINGH, S.P. dans son rapport cette distinction est de moins en moins adaptée car les industriels tendent à utiliser de plus en plus de matière ligneuse sans s'arrêter nécessairement au diamètre 20.

Au Cameroun dans le cadre d'un inventaire sur 3.660 ha (cas n° 4) les essences ont été réparties en trois catégories selon leur aptitude comme bois de feu. Une telle distinction est aussi importante pour le bois de feu que celle qui est faite entre les essences pour le bois d'oeuvre.

Graphique n° 1



Pourcentage en volume de la partie du bois de diamètre inférieur à 20 cm par rapport au volume total - (Extrait rapport SINGH, S.P.)

233 - La détermination du volume -

2331 - Problèmes des unités -

Les unités de mesure en vigueur actuellement ne sont pas toutes unifiées mais elles tendent à le devenir. On trouvera ci-après une table de conversion des unités les plus usuelles.

LONGUEUR -

1 pouce	=	0,0254 m
1 m	=	39,37 pouce
1 pied	=	0,3048 m
1 m	=	3,2908 pied

VOLUME (plein) -

1 pied^3	=	0,0283 m^3
1 m^3	=	35,31 pied^3
1 m^3/ha	=	14,29 pied^3/acre
1 pied^3/acre	=	0,0700 m^3/ha

VOLUME D'ENCOMBREMENT -

1 cord	=	3,62 stères	(4 pied x 4 pied x 8 pied)
1 stère	=	0,276 cord	(1 m x 1 m x 1 m)

SUPERFICIE -

1 ha	=	2,47 acre	(100 m x 100 m)
1 acre	=	0,405 ha	(66 pied x 660 pied)
1 are	=	0,01 ha	(10 m x 10 m)

POIDS -

1 livre (anglaise)	=	0,450 kg
1 kg	=	2,222 livre (anglaise)

SURFACE TERRIERE -

1 pied^2/acre	=	0,2294 m^2/ha
1 pouce^2	=	0,000645 m^2
1 m^2/ha	=	4,36 pied^2/acre

Table de conversion des poids en volume (stère ou m³)

Source	Conditions	Résultat
SINGH, S.P.	bois courant	1 tonne = 2,12 stères
	Casuarina (vert) tige	1 tonne = 1,38 stères
	" branches	1 tonne = 2,31 stères
	" racines	1 tonne = 2,10 stères
	Euc. terticornis	1 tonne = 1,44 stères
	Anogeissus pendula (vert)	1 tonne = 1,07 m³
MOREL cité dans CLEMENT, J.	abattage, pesée, cubage sur 4 ha (34 m³/ha)	
	état vert	1 tonne = 1 m³
	4 mois après	1 tonne = 1,25 m³

2332 - Les protocoles de mesure des volumes -

Les protocoles existants concernent essentiellement le volume plein et s'appliquent bien au bois d'oeuvre. La transposition pure et simple de ces protocoles à la mesure du volume du bois de feu aboutit à effectuer des mesures en très grand nombre sur des billons courts. Ceci n'est pas satisfaisant et à partir de cette constatation ont été pratiqués deux types de mesure :

1 - Mesure du volume d'encombrement par empilage de billons de longueur fixe ; détermination du coefficient d'empilage pour calculer ensuite le volume plein.

2 - Mesure du poids à l'état vert, c'est à dire au moment même de l'exploitation et prélèvement d'échantillons afin de déterminer la teneur en eau et le poids sec.

Le passage du volume plein au poids sec nécessite la connaissance des poids volumiques des espèces concernées. Ceci suppose donc de traiter séparément les espèces. Les deux types de mesure ne fournissent donc pas des résultats équivalents et il faut faire un choix.

Dans un travail d'inventaire visant à l'évaluation du potentiel l'expérience montre que le premier type de mesure est le plus adapté. Le travail d'empilage après abattage sur une surface échantillon n'exige ni une technicité ni des moyens particuliers. Cette technique avait déjà été appliquée dans les expériences les plus anciennes citées (étude du cas n° 1 et n° 7 par exemple). Par contre on ne doit pas se dispenser d'effectuer des mesures de coefficients d'empilage qui elles, exigent un niveau technique supérieur. L'extrême variabilité des coefficients d'empilage réellement mesurés dans le cadre de différentes opérations montre que cette opération est un complément indispensable (cf. § 25).

Dans un travail à caractère expérimental l'échelle de travail permet de recourir à la pesée. L'empilage du bois et la détermination du coefficient d'empilage sont alors des opérations facultatives mais extrêmement utiles pour la connaissance de ces paramètres.

Nous reviendrons plus en détail sur ces deux types de mesure au § 25.

2333 - Mesure du pouvoir calorifique -

Tout comme pour le poids volumique il existe des tables donnant le pouvoir calorifique des différentes espèces. Ce pouvoir calorifique étant variable avec les espèces, cela permet donc de donner un chiffre plus intéressant pour l'utilisateur que le volume plein ou le poids à l'état sec. En fait seul ce chiffre a un intérêt pour l'utilisateur.

On peut toutefois donner d'une autre manière cette information comme cela a été fait dans le cadre d'un inventaire sur 3.600 ha au Cameroun (cf. rapport Source Afrique francophone). On peut au moment de l'empilage, séparer les bois en trois catégories selon leur qualité en tant que bois de feu : très bon, moyen, médiocre. Cette distinction peut raisonnablement se faire sur le chantier d'inventaire à condition d'y associer des habitants locaux. Les résultats de l'inventaire sont alors donnés par catégorie ce qui correspond bien au souci de mieux s'adapter à la réalité.

2334 - Tarifs de cubage et emploi des régressions -

L'emploi des tarifs de cubage calculés par la méthode de régression simple ou multiple a été beaucoup développé dans le cadre des forêts produisant du bois d'oeuvre. Le modèle est établi au niveau de l'arbre et il s'agit d'un tarif individuel donnant le volume d'un arbre. Le volume d'un peuplement s'obtient alors par sommation de volumes d'arbres.

Le cas des formations étudiées se différencie nettement car on s'aperçoit qu'il va être plus commode d'utiliser des tarifs peuplement. Les caractéristiques que l'on mesurera sur le peuplement (en pratique sur la placette d'inventaire) vont servir à déterminer son volume sans passer nécessairement par des mesures individuelles sur les arbres de la placette.

Pour établir un tarif individuel on mesure sur des arbres échantillons le volume v et une autre caractéristique, par exemple, la surface terrière g ; on établit une régression sur l'ensemble des couples de données (v,g) du type $v = a + bg$.

Pour établir un tarif peuplement on mesure sur des placettes-échantillons le volume total V (celui auquel on s'intéresse) et différentes caractéristiques du peuplement, par exemple : le nombre d'arbres dont la hauteur dépasse 5 mètres, la hauteur des arbres les plus hauts, le nombre d'arbres de moins de 5 mètres de hauteur.... La régression multiple que l'on peut calculer est de la forme : $V = f(X_1\ X_2\ X_3)$..où $X_1\ X_2\ X_3$..... sont les caractéristiques du peuplement.

Choix des caractéristiques du peuplement. Ces caractéristiques doivent être :

- simples à définir et à mesurer
- bien corrélées au volume V de façon que le modèle soit le meilleur possible.

L'expérience faite dans des inventaires au Cameroun et en République Centrafricaine a permis de préciser quelles caractéristiques sont intéressantes à mesurer :

X_1 effectif toutes essences des arbres de hauteur comprise entre 1 et 2 m.

X_2 effectif toutes essences des arbres de hauteur comprise entre 2 et 3 m.

X_3 effectif toutes essences des arbres de hauteur comprise entre 3 et 4 m

X_4 effectif toutes essences des arbres de hauteur comprise entre 4 et 5 m

X_5 effectif toutes essences des arbres de hauteur supérieure à 5 m

La forme de la régression $V = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5$ permet d'interpréter les coefficients a_i comme le volume moyen d'un arbre de la classe de hauteur correspondante mais cette interprétation n'est pas strictement nécessaire.

Une autre caractéristique intéressante est le diamètre moyen des arbres de hauteur supérieure à 5 m. Cela pourrait être leur surface terrière.

Dans ce domaine il faut reconnaître que tout reste à faire car jusqu'à maintenant la tendance a consisté à transposer la méthode des tarifs individuels.

2335 - Exemples de tarifs de cubage -

2335.1 - Tarifs individuels à une seule entrée -

Afin de permettre une vérification d'un tarif à une entrée, il est très utile de faire la représentation graphique en le superposant à plusieurs tarifs existants. Sur le graphique n° 2 nous avons tracé les deux tarifs cités dans l'étude de cas n° 7 (Inventaire en Haute-Volta et deux tarifs cités dans le rapport de SINGH, S.P. Si le tarif est du modèle $v = a + b d^2$ on a intérêt à adopter en abscisse une échelle en d^2 mais ce n'était pas le cas pour ces tarifs qui sont du type $v = a + bd + cd^2$.

2335.2 - Tarifs peuplement -

2335.21 - Modèle V = bG

Le modèle le plus courant est celui dans lequel l'entrée est la surface terrière du peuplement et parmi ceux-ci le plus simple est de la forme V = bG.

Sous cette forme le tarif peuplement est identique au tarif individuel $v = bg$ ($v = \frac{4}{\pi} bd^2$).

2335.22 - Modèle V = a + bG

Un modèle un peu plus élaboré est du type V = a + bG

Il faut remarquer ici que V et G sont au moment de l'établissement du tarif des données mesurées sur des placettes qui n'ont pas nécessairement une superficie de 1 ha mais que pour être commode d'emploi le tarif ci-dessus doit donner V rapporté à l'hectare à partir de G rapporté à l'hectare. La constante a est une grandeur de la dimension volume à l'hectare.

Exemple (cf. étude du cas n° 3) = sur 50 placettes de 0,2 ha on a mesuré le volume V' et la surface terrière G'. Un calcul de régression sur ces données a conduit au modèle :

$V' = 5,9\ G' - 1,1$

Le modèle correspondant rapporté à l'hectare est :

$V = 5,9\ G - 5,5$ V en m^3/ha, G en m^2/ha

2335.23 - Autres modèles -

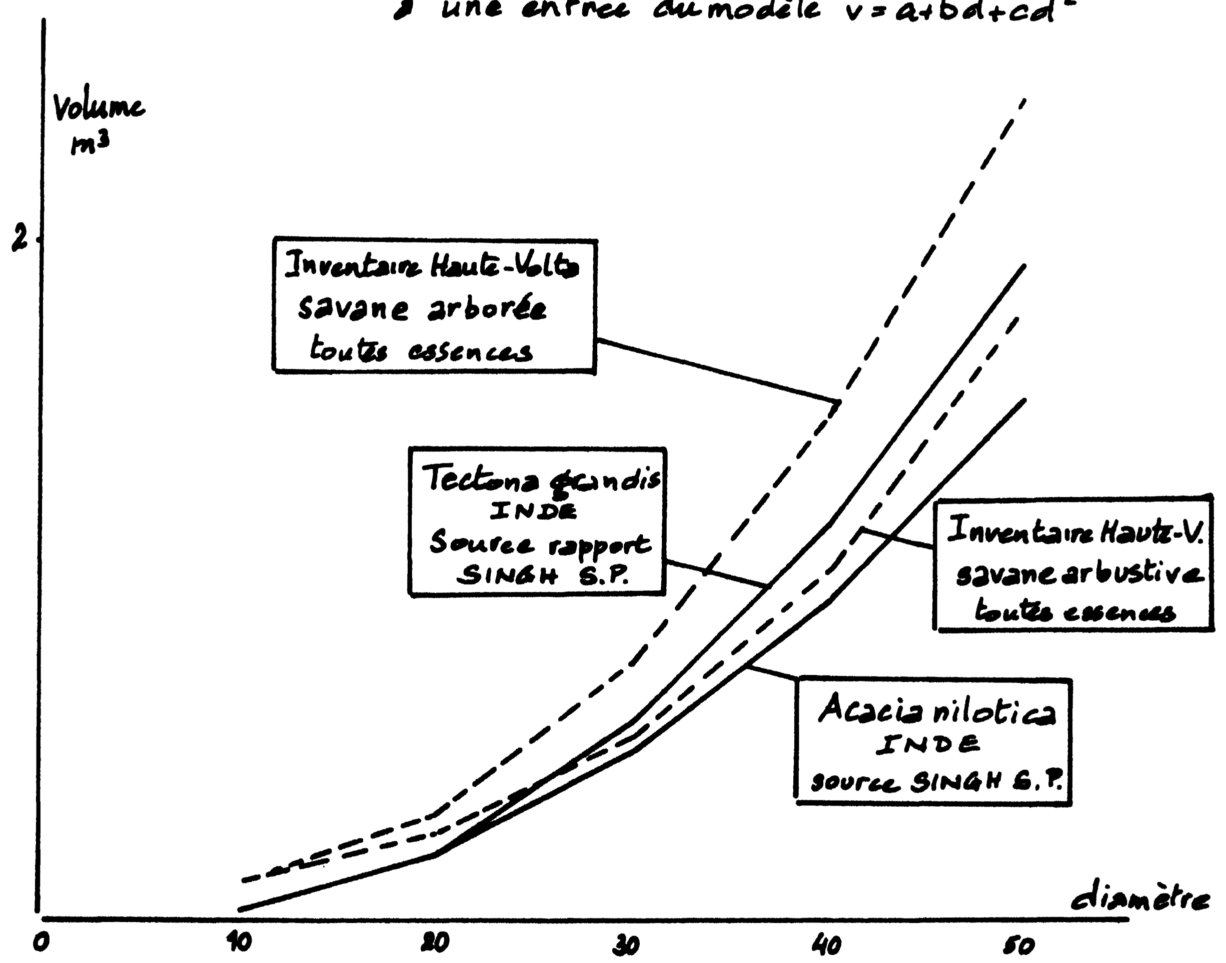
Dans le cadre des opérations menées au Mali d'autres modèles ont été essayés (cf. étude de cas n° 3) :

- 2 modèles faisant intervenir Dg diamètre de l'arbre moyen :

$V = aDg + bG + c$
$V = G\ (aDg + b)$

Graphique n° 2

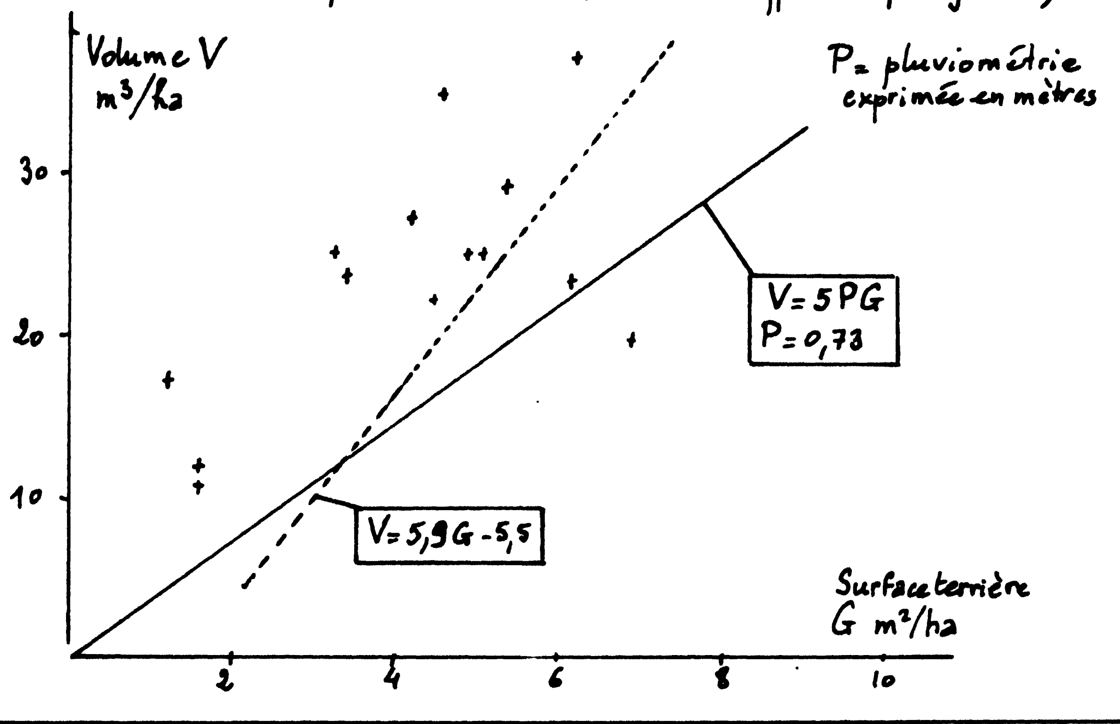
Exemples de tarifs de cubage individuels à une entrée du modèle $v = a + bd + cd^2$



Graphique n° 3

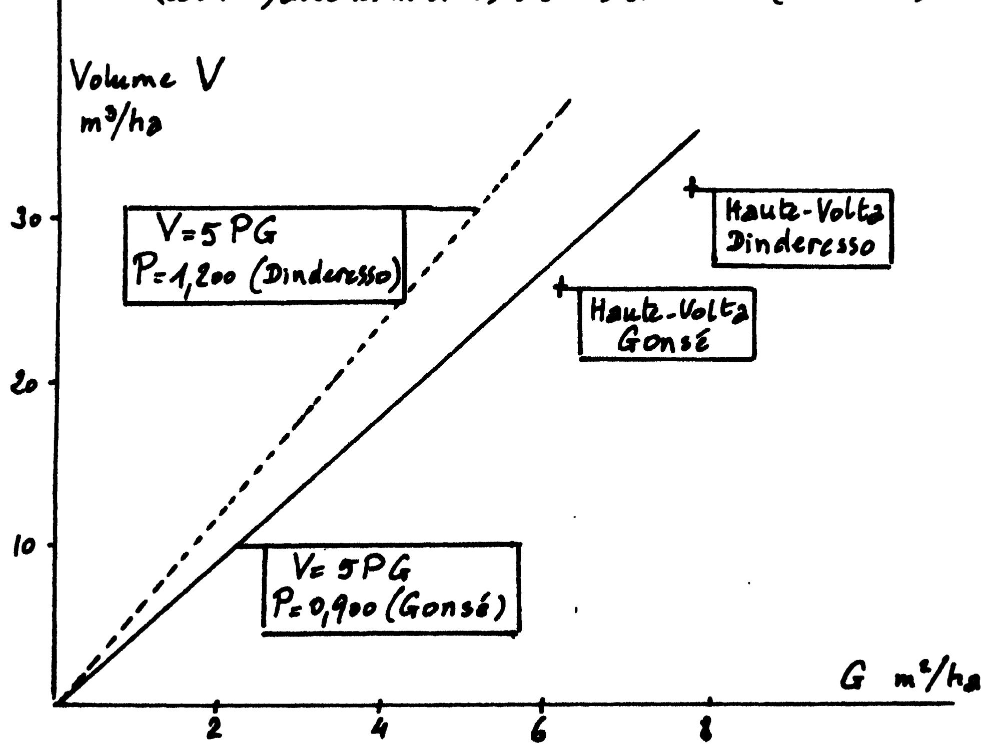
Comparaison des données de l'expérience de Bakura-Tureta (cas n° 1) avec les modèles établis au Mali (cas n° 3)

les parcelles sont de 1,1 ha - le coeff. d'empilage est 0,31



Graphique n° 4

Comparaison des données des expériences Haute-Volta (cas n° 8) avec les modèles établis au Mali (cas n° 3)



Il faut souligner que pour le premier de ces deux modèles il y a lieu de préciser si V et G sont rapportés à l'hectare.

- un modèle faisant intervenir la pluviométrie :

$$V = 5\ P\ G$$

où P est la pluviométrie en mètres.

A l'origine la formule était V = 10 P G où V était exprimé en stère. Le coefficient d'empilage mesuré était 0,50.

2335.3 - Vérification d'un tarif peuplement -

Comme pour un tarif individuel il faut reporter sur graphique les données dont on dispose pour juger de la validité d'un tarif.

C'est l'objet du graphique n° 3 sur lequel sont portés les données de l'expérience BAKURA-TURETA au Nigéria (étude de cas n° 1) et les modèles établis au Mali (étude de cas n° 3) à savoir :

$V = 5{,}9\ G - 5{,}5$

$V = 5\ P\ G$ qui devient $V = 3{,}65\ G$ puisque $P = 0{,}730$ m

L'examen des graphiques montre que le modèle qui a été mis au point au Mali n'est pas applicable au Nigéria et n'est pas non plus parfaitement en accord avec les résultats de Haute-Volta. Cela souligne la nécessité de construire des modèles adaptés à chaque cas particulier.

Table de tarifs de cubage

Source	Conditions	Modèles (1)
MOREL, cité dans CLEMENT, J.	abattage et empilage sur bloc de 10 ha, subdivisé en 50 placeaux de 0,20 ha. Tarif peuplement	$V = 5{,}9\ G - 5{,}5$ $V = 262\ D + 4{,}59\ G - 21{,}6$ $V = (38\ D + 1{,}44)\ G$
	abattage et empilage sur bloc de 4 ha subdivisé en 40 placeaux Tarif peuplement	$V = 5\ G$ (tarif individuel équivalent $v = 6{,}36\ d^2$)
SINGH, S.P.	tarifs individuels donnant le volume total (branches + tiges) jusqu'à découpe diamètre 5 cm	
	Acacia nilotica	$v = (2{,}699\ d - 0{,}104)^2$
	Tectona grandis	$v = (3{,}168\ d - 0{,}182)^2$

(1) Explication des symboles utilisés.

Tarifs peuplements

V = volume rapporté à l'hectare exprimé en m^3/ha

G = surface terrière rapportée à l'hectare exprimée en m^3/ha

D = diamètre de l'arbre moyen du peuplement exprimé en m

Tarifs individuels

v = volume de l'arbre (m^3) d = diamètre à 1,3 m (m) h = hauteur totale (m)

2336 - Précision d'un estimation par un tarif -

Dans le cadre d'un inventaire par échantillonnage on peut considérer que l'erreur commise en appliquant un tarif de cubage est de même nature que celle commise en utilisant un instrument de mesure. Si l'instrument ne possède pas de biais, et si le tarif de cubage estime le volume sans biais, les erreurs commises sont incluses dans l'erreur d'échantillonnage. Dans ces conditions il n'y a pas lieu d'en tenir compte.

Dans le cadre d'une estimation du volume sur une parcelle unique (par exemple une parcelle expérimentale ou une forêt inventoriée en plein) il faut utiliser les tarifs de cubage pondérés qui permettent une estimation correcte de l'erreur faite. Une méthode simplifiée mais dont il faut savoir le caractère approximatif consiste à utiliser l'écart-type résiduel de la régression comme l'écart-type de l'écart à la régression.

24 - Dispositif d'inventaire - Echantillonnage -

Idées importantes :

- accessibilité et visibilité relativement bonnes
- faible valeur du volume à l'hectare
- forte variabilité

241 - Stratification. Utilisation de la télédétection -

La grande variabilité des caractères étudiés conduit à préconiser dans toute la mesure du possible une stratification c'est à dire une décomposition de la zone à inventorier en sous-ensembles ou strates plus homogènes.

C'est essentiellement la photo-interprétation qui permettra cette stratification car elle permet une vue d'ensemble de la zone et des divers aspects de la végétation qui la compose.

On a extrait du rapport établi par CLEMENT l'essentiel des conclusions sur l'utilisation de la télédétection.

On peut distinguer trois niveaux d'utilisation de ces techniques :

- niveau national : utilisation de l'imagerie satellite pour réaliser des cartes à l'échelle du 1/500.000 visualisant les divers types physionomiques de la végétation forestière. Ce type de carte a été réalisé récemment dans plusieurs pays d'Afrique.

- niveau régional : utilisation combinée des photos aériennes classiques pour établir des cartes forestières à des échelles allant du 1/50.000 au 1/100.000. Ce type d'action a été réalisé notamment au Mali.

- niveau local : utilisation de photographies aériennes à grande échelle, sous forme d'échantillons constituant la première étape de réalisations d'inventaires basés sur le principe du double échantillonnage.

Pour chacun de ces niveaux d'action les techniques sont connues et ont été décrites dans différents rapports ou notes techniques.

Il convient de souligner la difficulté (conduisant souvent à une impossibilité) d'identifier sur images satellite un grand nombre de types physionomiques en fonction du couvert végétal. Les radiations réfléchies moyennes de chaque pixel sont en effet une combinaison de réflectances du sol et de la végétation et concernant cette dernière la réflectance moyenne dépend étroitement du mode de répartition de la végétation sur le pixel : uniforme ou par taches ; ceci complique considérablement l'interprétation.

La date conseillée de prise de vue aérienne est à la saison des pluies (atmosphère claire) malgré l'inconvénient d'une observation difficile des petits arbres et arbustes masqués par le couvert des arbres dominants.

Peu d'études ont été faites sur la taille des unités d'échantillonnage optimales. On recommande des unités de la taille d'un hectare sur photos aériennes.

242 - Plan d'échantillonnage -

2421 - Echantillonnage à plusieurs degrés -

Il est utile de rappeler (1) que l'avantage principal d'un sondage à plusieurs degrés pour une même intensité de sondage et des unités d'échantillonnage finales de même taille et de même forme, est que la composante du coût imputable à l'accès aux unités d'échantillonnages finales est très réduite. Cela est particulièrement vrai dans les formations forestières tropicales denses où la pénétration est difficile ; c'est moins vrai dans le cas des formations sèches. En outre la concentration de l'échantillon qui résulte d'un plan de sondage à plusieurs degrés augmente la variance des estimations et plus la variabilité entre unités du premier degré est forte, plus cette augmentation de la variance est importante.

En conclusion le plan d'échantillonnage à deux degrés ne sera mis en oeuvre que dans le cas où l'étude comparée des coûts penchera nettement en sa faveur.

2422 - Echantillonnage systématique à un degré -

Associé à la stratification préalable c'est le plan de sondage qui est le plus recommandé.

Il faut rappeler (1) que le nombre d'unités n, le pourcentage d'erreur sur la moyenne (au seuil de probabilité 66 %) et le coefficient de variation cv d'une caractéristique mesurée sur une unité sont liés par la relation :

$$e = \frac{cv}{\sqrt{n}}$$

Ceci permet de déterminer le nombre d'unités d'échantillonnage à installer n pour avoir une erreur donnée e ; en faisant l'hypothèse d'un coefficient de variance cv. Des valeurs de coefficients de variations sont données au § 244.

La disposition des unités d'échantillonnage reposera sur le fait que par rapport aux formations forestières denses on a une plus grande facilité de circulation.

243 - Les unités d'échantillonnage -

2431 - Unités de surface définie (placettes) -

2431.1 - Placette en bande -

La placette en bande étroite (10 m par exemple) très largement utilisée dans les opérations d'inventaire en forêt dense n'est pas autant justifiée dans des formations où la progression est relativement facile.

L'inconvénient majeur de ces placettes réside dans le fait d'avoir à surface égale un périmètre nettement plus important que des placettes circulaires ou de forme carrée.

Plus le périmètre est long et plus on augmente le risque d'erreur sur les arbres limites.

On peut remédier à cet inconvénient en augmentant la largeur de façon à se rapprocher de la forme carrée. Mais on a alors des difficultés d'implantation qui aboutissent là aussi à des risques d'erreurs sur les arbres limites.

(1) F.A.O. - Manuel d'inventaire forestier - Etude 27 pages 177 et suivantes

2431.2 - Placette circulaire -

C'est incontestablement la plus facile à installer sur le terrain. Les différentes techniques pour ce faire sont :

- soit à la chaîne ou au double décamètre
- soit avec la mire PARDE et un dendrométre SUUNTO ou BLUM-LEISS muni d'un dioptre
- soit avec un appareil de type relascope de BITTERLICH ou jauge d'angle

Il apparaît utile de développer ces deux dernières méthodes car elles conviennent bien pour l'installation de placettes de grande surface dans des formations ouvertes.

Mire PARDE (cf. PARDE - Dendrométrie)- (Figure n° 2)

La mire PARDE a l'aspect d'un jalon de topographie sur lequel il y a un voyant fixe et un autre glissant de telle sorte qu'on puisse régler l'écartement e entre les deux ; le jalon est placé verticalement au centre de la placette à installer. L'observateur muni d'un dioptre dont la déviation angulaire est connue (3 centièmes de radians dans le cas du dioptre des dendromètres SUUNTO ou BLUM-LEISS) peut facilement se placer à une distance du jalon égale à $\frac{100}{3} e$ et par conséquent décrire le périmètre d'une placette de surface $\pi R^2 = \pi \left(\frac{100}{3} e\right)^2$. Une table donne l'écartement e à adopter en fonction de la surface de la placette. Il est possible de réajuster la valeur de l'écartement e si le terrain est en pente de telle façon que la surface de la placette soit en projection horizontale identique à celle en terrain plat.

Relascope de BITTERLICH ou jauge d'angle - (Figure n° 3)

Une autre méthode consiste à placer au centre de la placette une mire cylindrique d'axe vertical de diamètre d et de viser la mire avec la jauge d'angle ε. La distance R de l'observateur à la mire est : $R = \frac{d}{\varepsilon}$

Par exemple avec $\varepsilon = 1/100$ et une mire de diamètre 20 cm la distance sera de 20 m. L'observateur pourra donc facilement parcourir le périmètre du cercle de rayon 20 m (0,125 ha).

2431.3 - Placette en grappe -

Une autre possibilité pour les unités d'échantillonnage consiste à installer une grappe de plusieurs placeaux à faible distance et selon un schéma d'implantation systématique. La réunion de ces placeaux constitue la placette d'inventaire.

On peut y voir deux avantages :

- faciliter l'implantation dans la mesure où chaque placeau étant de petite taille il peut être plus facile d'en matérialiser les limites que celles d'une placette.

- lorsque se manifestent des phénomènes de concurrence entre arbres à des distances qui sont du même ordre ou supérieures à la dimension de la placette l'information fournie par la placette sera fortement liée à sa taille. Avec une grappe de placeaux suffisamment distants les uns des autres on évite cette difficulté.

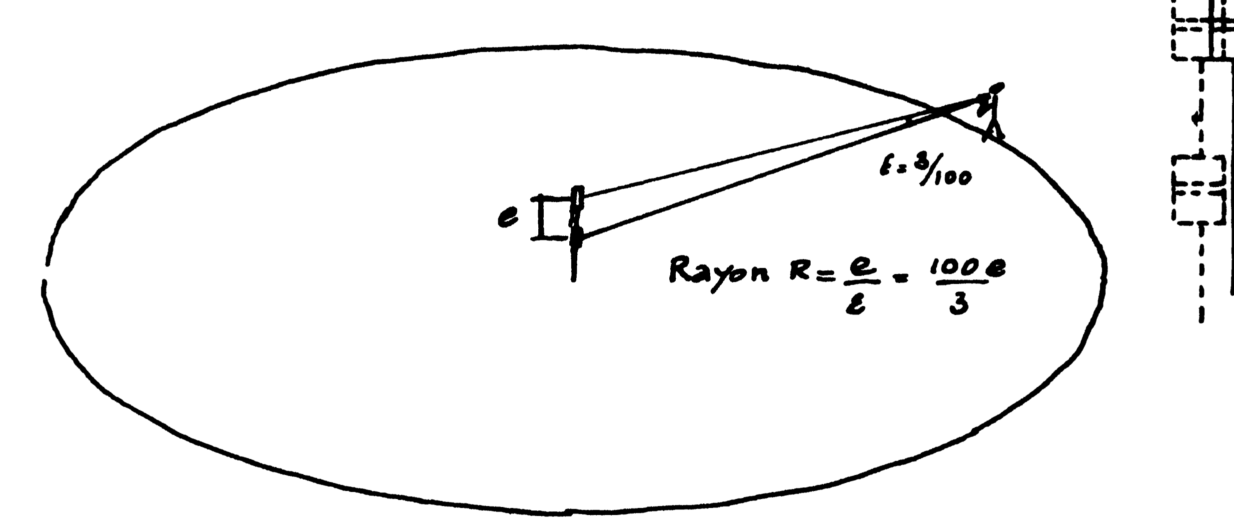
Toutefois il faut souligner la méconnaissance totale de ces phénomènes actuellement.

Il y a un inconvénient important à la placette en grappe : la longueur périmétrale se trouve très augmentée. Ainsi en éclatant une placette circulaire ou carrée en n placeaux on multiplie le périmètre par $\sqrt{n}$.

En prenant l'exemple d'une placette de 0,25 ha (cercle de 28,2 m de rayon) éclatée en 5 placettes de 0,05 ha (cercles de 12,6 m de rayon), le périmètre est multiplié par 2,2 alors que l'on aura peu gagné en facilité d'implantation.

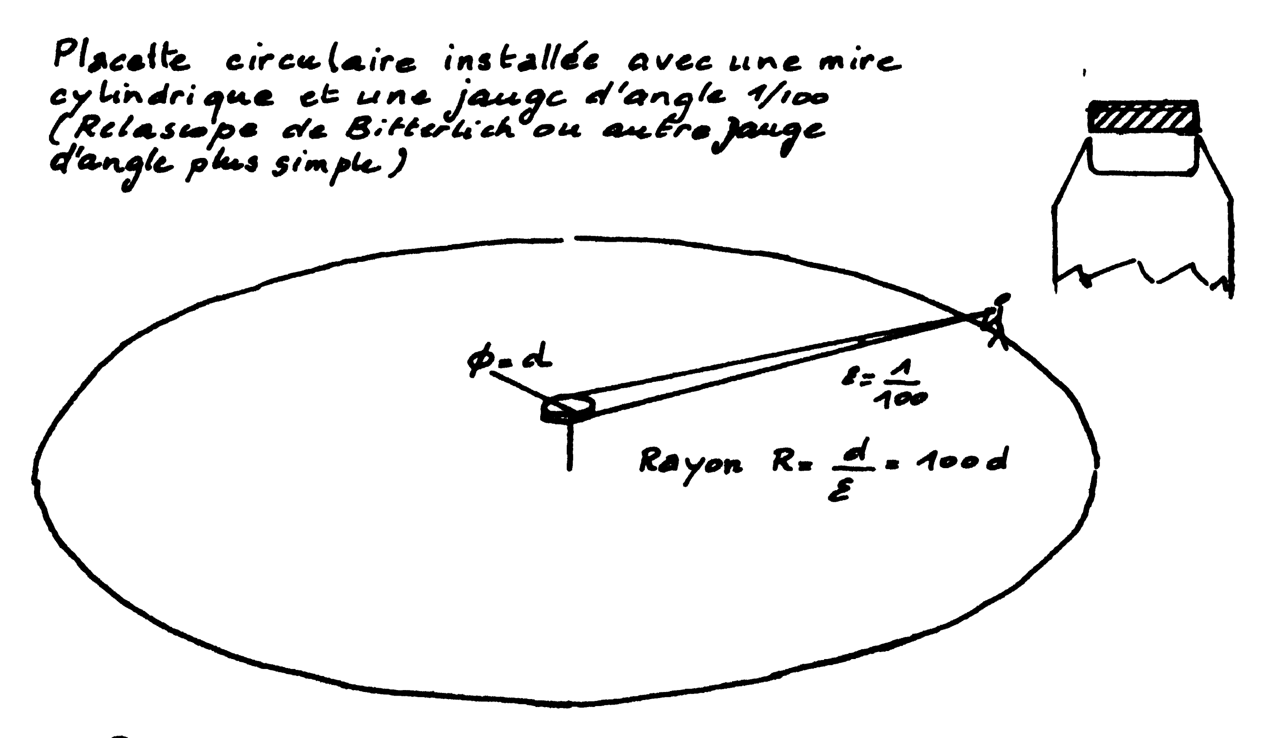
Figure n° 2

Placette circulaire installée avec la mire PARDE et un dioptre d'angle 3/100 (Dendromètre Suunto ou Blume-leiss)



Pour une surface de 0,25 ha   R = 28,2 m   e = 84,6 cm

Placette circulaire installée avec une mire cylindrique et une jauge d'angle 1/100 (Relascope de Bitterlich ou autre jauge d'angle plus simple)



Pour une surface de 0,25 ha   R = 28,2 m   d = 28,2 cm

2432 - Points horizontaux -

Dans le cas particulier des formations qui nous concernent, ce type d'unités ne peut avoir un intérêt que dans les cas où il y a de gros arbres dispersés qui nécessiteraient pour être pris en compte dans une placette à surface définie une taille de placette beaucoup trop importante (supérieure à 12,5 ares). Il faut alors accompagner le décompte des arbres de la mesure de leurs diamètres.

La placette tour d'horizon donne effectivement :

- la surface terrière à l'hectare si on fait simplement le dénombrement des tiges sans les mesurer,
- l'effectif à l'hectare par catégorie de diamètre si on fait en plus la mesure des diamètres des arbres comptés.

Les n_i arbres comptés dans la catégorie de diamètre d_i sont en effet tous à l'intérieur d'un cercle de rayon $R_i = \frac{d_i}{E}$ en appelant E l'angle de la jauge utilisée pour le tour d'horizon. Ce cercle ayant une superficie $\pi R_i^2 = \frac{\pi d_i^2}{E^2}$ l'effectif à l'hectare N_i des n_i arbres de la catégorie d_i est :

$$N_i = n_i \frac{E^2}{\pi d_i^2} \quad \text{et rapporté à l'hectare} \quad N_i = \frac{n_i \; 10.000 \; E^2}{\pi \; d_i^2}$$

Dans le cas d'une formation à faible potentiel (moins de 10 m^2/ha) on prendra une jauge d'angle telle que le facteur multiplicatif soit faible (1 ou 0,5). Le tableau ci-après met bien en évidence les surfaces sur lesquelles sont dénombrés les arbres des différentes catégories de diamètre.

Facteur	Angle E (radians)	Surfaces des cercles sur lesquels sont comptés les arbres (hectares)		
		Diamètre 0,20 m	Diamètre 0,40 m	Diamètre 0,60 m
2	1/35,3	0,016	0,063	0,141
1	1/50	0,031	0,125	0,283
0,5	1/70,7	0,063	0,251	0,565

L'inconvénient de ce procédé est qu'il est difficilement applicable aux petits diamètres. En dessous d'un diamètre de 15 cm les troncs sont généralement de forme sinueuse et la visée du diamètre de référence n'est pas précise dans la mesure où celui-ci n'est pas bien défini. Il faut donc réserver cette méthode aux cas où il y a simultanément dans le peuplement des gros arbres et des petits de façon que l'avantage dans la mesure des gros diamètres reste prépondérant.

Il existe actuellement des instruments de mesure du type jauge d'angle relativement économiques : les prismes relascopiques.

Dans son rapport SINGH, S.P. souligne le gain de temps dû à l'emploi de la technique du point horizontal par rapport à la placette de rayon fixe. Il préconise de compter sur une placette de rayon 5 mètres les arbres en dessous de 10 cm de diamètre. On remarquera que pour le tour d'horizon avec un facteur 1 un rayon de 5 m correspond précisément aux arbres de diamètre 10 cm.

244 - Coefficients de variation -

Afin de déterminer le nombre d'unités d'échantillonnage à installer dans un inventaire pour avoir une marge d'erreur fixée à l'avance il faut connaître le coefficient de variation de la grandeur étudiée.

On peut tirer parti de deux opérations pour essayer d'en donner un ordre de grandeur.

La première est l'inventaire réalisé en Haute-Volta (cf. étude de cas n° 7) qui fournit des informations sur les coefficients de variation du volume mesuré sur placettes de 0,25 ha.

- Le coefficient est très élevé pour des formations de type jachères (90-110 %) ce qui correspond bien à une forte hétérogénéité.
- Il est le plus faible (40-70 %) pour les formations de type savane arborée et forêt claire. Ce sont donc les formations les plus riches et les plus homogènes.
- Il est moyen pour les formations de type savane arbustive (50-90 %) qui sont les formations les plus pauvres.

On constate donc que ce coefficient de variation du volume, pour des placettes de 0,25 ha, et après stratification, est au moins de 50 % et au plus 100 %.

La deuxième opération est l'inventaire en plein réalisé au Mali (étude de cas n° 3) sur des carreaux élémentaires de 0,20 ha. Le coefficient de variation trouvé est de 37 %, donc légèrement inférieur au précédent ; mais il faut tenir compte du fait que les carreaux sont ici juxtaposés et que l'ensemble est de faible extension en surface. Ce chiffre de 37 % est donc quelque peu optimiste.

Avec des placettes de 0,125 ha il faut s'attendre à un coefficient de variation minimum de 70 % et avec des placettes de 0,25 ha, un minimum de 50 %

Nombre de placettes nécessaires en fonction de l'erreur souhaitée au seuil de probabilité 95 %

Erreur (%)	Placettes de 0,125 ha	Placettes de 0,25 ha
2 %	4.900	2.500
5 %	784	400
10 %	196	100

3 - MESURES

31 - Mesures effectuées pour la détermination du volume (ou du poids) sur une placette échantillon -

Pour l'établissement de tarifs de cubage de type peuplement il faut mesurer sur les placettes échantillons de surface définie le volume total (ou le poids).

L'expérience acquise dans ce domaine permet de dire que c'est l'abattage et l'empilage du bois contenu sur la placette qui s'avère la méthode la plus adaptée, les mesures n'intervenant qu'après cette opération préalable. Examinons toutefois plus en détail le mode opératoire.

311 - Avant abattage il faut installer la placette et en déterminer avec précision sa superficie et ses caractéristiques dendrométriques de façon à pouvoir étudier par la suite la corrélation entre ces caractéristiques et le volume (ou le poids) de l'ensemble des placettes échantillons et établir l'équation tarif.

312 - Au moment de l'abattage et de l'empilage il y a lieu, chaque fois que cela est possible, de ventiler le bois selon des critères de qualité (bois de feu de différentes qualités et éventuellement bois de service) de façon à obtenir une ventilation du volume (ou du poids) total dans ces différentes qualités.

L'empilage doit être effectué avec des bois de même longueur. Un mètre peut être considéré comme satisfaisant sur le plan pratique.

313 - Mesures consécutives à l'empilage -

Une fois l'empilage effectué on peut effectuer une mesure directe du volume d'encombrement sur chaque placette. Cette mesure sera facilitée par le fait que les bois sont de longueur constante et si les piles sont soigneusement faites.

Le volume d'encombrement peut éventuellement constituer le résultat définitif auquel on s'intéresse. Dans la mesure où les usages des consommateurs locaux ont été respectés pour la réalisation de ces piles et dans la ventilation en qualités les volumes d'encombrement peuvent pour l'usager être parfaitement suffisants.

Mais lorsqu'on travaille à une échelle plus large et que l'on a le souci de généraliser les résultats obtenus, notamment pour faire des prévisions dans des régions dont le potentiel en bois est peu ou mal connu, on s'aperçoit que les résultats des inventaires exprimés en volume d'encombrement sont très difficiles à utiliser.

314 - Une première approche consisterait à mesurer directement :

- soit le volume plein
- soit le poids à l'état sec

sans passer par l'intermédiaire du volume d'encombrement. Ceci est parfaitement envisageable dans le cadre d'opérations à caractère expérimental. Cette méthode est utilisée actuellement pour des déterminations précises de biomasse lorsqu'on a besoin de résultats précis qui puissent servir de référence et on doit l'utiliser dans les dispositifs expérimentaux installés dans les formations mixtes forestières et graminéennes afin de constituer les références qui font actuellement défaut.

Mais ce n'est pas justifié dans le cadre d'inventaires. Dans ce cas il faut viser plutôt à convertir les volumes d'encombrement mesurés sur les placettes:

- soit en volume plein
- soit en poids à l'état sec

les deux pouvant être fournis simultanément dans certains cas.

315 - Premier cas : l'objectif est la conversion du volume d'encombrement en volume plein.

Le problème revient à la détermination du coefficient d'empilage = (volume plein)/(volume d'encombrement).

Dans les publications citées les chiffres varient considérablement de telle sorte qu'il n'est pas possible d'accorder de crédit aux estimations de volume basées sur les coefficients d'empilage qui ne seraient pas mesurés dans le cadre de l'opération d'inventaire.

Le tableau ci-après donne un certain nombre de coefficients cités dans les documents consultés.

SOURCE	CONDITIONS	VALEUR
CAILLIEZ, Etude F.A.O. n° 20	Petites branches de mauvaise forme Quartiers refendus empilés tête-bêche	0,45 0,80
GRAVSHOLT, S. cité dans ABAYOMI, J.O.	Azadirachta indica nord-Nigéria	0,31
SINGH, S.P.	Anogeissus pendula en forêt de Bharatpur	0,44
BERGONZINI	Inventaire au Nord-Cameroun Petit bois (Ø < 5 cm) Gros bois (Ø > 5 cm)	 0,24 0,43
MOREL cité dans CLEMENT, J.	Coupe rase sur 4 ha cubage de tous les bois région de Bamako (Mali)	0,50
NOUVELLET 1983	Coupe rase sur 4,6 ha en savane région de Bambari (R.C.A.) toutes catégories de Ø	0,56

La méthode de mesure employée doit tenir compte de la forme des pièces de bois constituant la pile. Avec des pièces de forme irrégulière la seule méthode qui soit applicable est celle décrite par CAILLIEZ (étude 22 de la F.A.O.). Des méthodes plus expéditives sont utilisables si l'empilage est très régulier mais ce sera rarement le cas des bois de feu dans les formations considérées.

Si les bois ne sont pas trop petits, on peut les mesurer individuellement :

diamètres à chaque extrémité et à mi-longueur D_1, D_2 et Dm

longueur L

et calculer leur volume V par la formule de Newton

$$V = \frac{\pi}{24} (D_1^2 + D_2^2 + 4\,Dm^2)\,L$$

Cette opération est longue et oblige à défaire la pile. On peut plus simplement mesurer les diamètres de tous les bois sur chaque face de la pile (inutile d'accoupler les deux mesures relatives au même bois). Par application de la formule de Smalian à chaque pièce on obtient :

$$\text{Volume plein de la pile} = \frac{\pi}{8} L \left[\sum D^2 \text{ face 1} + \sum D^2 \text{ face 2} \right]$$

Faire la même opération sur quelques piles et prendre pour coefficient d'empilage le rapport :

$$\frac{\text{Somme des volumes pleins contenus dans les piles}}{\text{Somme des volumes d'encombrement des piles}}$$

Il est possible de calculer l'intervalle de confiance de cette estimation (estimation par le quotient - Manuel d'inventaire F.A.O. - Etude 27).

Si les bois sont de faible diamètre la seule méthode abordable est la pesée mais il faut déterminer le poids volumique pour calculer le volume.

Propositions pour améliorer la mesure du coefficient d'empilage (Etude de cas n° 4).

On a pu vérifier que les fluctuations de ce coefficient sont dues aux différences de diamètre des bois empilés autant qu'à leur forme. D'où l'idée de constituer des piles avec des bois de même grosseur de façon à donner plus de validité à ces coefficients. En distinguant gros bois (bois dont le gros bout est de diamètre supérieur à 5 cm) et petit bois (autres) dans un inventaire au Cameroun on est arrivé à deux coefficients d'empilage différents (0,43 pour les gros et 0,24 pour les petits) déterminés sur trois piles seulement de chaque catégorie. Quel nombre de mesures doit-on effectuer ? Il n'est pas possible de donner une réponse à priori à cette question qui est de même nature que celle de la précision d'un inventaire par échantillonnage mais dans la mesure où les coefficients mesurés sur plusieurs piles sont proches on pourra se limiter à un très petit nombre de piles.

La méthode de mesure du volume plein appliquée à des bois de petit diamètre conduirait à un grand nombre de mesures. Aussi a-t-on préconisé pour les petits bois la pesée ; mais il ne s'agit ici que d'un intermédiaire pour éviter de mesurer directement le volume plein. On fait l'hypothèse que le poids volumique v est le même pour les petits bois et pour les gros bois dans l'état où ils se trouvent au moment de la mesure. Sur les piles de gros bois dont on a mesuré le volume plein on fait une pesée ce qui permet de connaître ce poids volumique. Sur la pile de petit bois on effectue une pesée seulement et la connaissance du poids volumique permet de calculer son volume plein.

Pour que cette méthode soit valable il faut la mettre en oeuvre sur les lieux mêmes du chantier d'empilage et sans attendre que les bois sèchent.

316 - Deuxième cas : l'objectif est la conversion du volume d'encombrement en poids -

Il faut alors effectuer une <u>pesée</u> et une détermination du taux <u>d'humidité</u> car on ne peut pas pour du bois donner un poids sans précision de l'état d'humidité dans lequel il se trouve. Les bois frais ont des poids qui peuvent être doubles de ceux à l'état sec (poids d'eau = poids du bois anhydre). La pesée se fait avec un équipement adapté aux conditions de travail sur le terrain (peson ou balance romaine).

La mesure du taux d'humidité se fait en prélevant des échantillons qu'il faut peser aussitôt à l'état frais puis ramener au laboratoire pour passage à l'étuve et pesée à l'état anhydre.

On peut ne pas peser aussitôt les échantillons mais il faut alors les emballer dans des sacs étanches et les peser au laboratoire. Cela suppose donc dans tous les cas un bon équipement et une bonne organisation.

Taux d'humidité : on prendra comme définition le rapport =

$$\frac{\text{poids d'eau contenue}}{\text{poids de la matière anhydre}} \text{ exprimé en \%}$$

- Le poids de la matière anhydre est le poids final après passage à l'étuve
- Le poids d'eau contenue est la différence entre le poids initial avant passage à l'étuve et le poids final.

Dans la mesure où on effectue au laboratoire des déterminations de taux d'humidité il est possible aussi de déterminer des poids volumiques à l'état sec ; mais pour convertir des poids en volume on doit tenir compte du fait que la variation du poids volumique entre les espèces est importante et qu'on ne connaît pas la répartition du bois entre les espèces.

Si l'échantillon prélevé pour la mesure d'humidité est réparti entre les espèces comme dans la population on peut prendre comme poids volumique le rapport poids/volume de l'échantillon.

32 - Mesures effectuées pour la détermination du volume d'arbres échantillon -

Pour la détermination de tarifs individuels applicables aux arbres il faut faire appel à des méthodes de mesure différentes. Elles sont plus générales car utilisées systématiquement pour toutes les forêts où l'on produit du bois d'oeuvre.

Dans l'étude 22 de la F.A.O. CAILLIEZ souligne à juste titre l'importance qu'il y a à définir le volume auquel on s'intéresse.

321 - Découpe -

La limite inférieure est à fixer en accord avec les utilisateurs ; mais on peut accepter l'idée d'une limite inférieure absolue de diamètre 3 cm qui pourra être selon les cas montée à 5 cm ou à 7 cm (bois fort). La découpe bois fort est elle trop élevée pour être préconisée de manière générale en matière de bois de feu.

On dispose de chiffres intéressants à ce point de vue : ce sont ceux obtenus lors de la coupe sur 4,6 ha dans une savane de R.C.A. (1). Le volume total était faible (9,4 m^3/ha). Les bois coupés à 1 m ont été tous mesurés, répartis en classe de circonférence. Au total cela représentait 10.385 bûches et 43,6 m^3.

Classe de circonférence (en cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60 et +
Répartition en nombre (%)	12	58	18	6	2	2	2
Répartition en volume (%)	1	26	22	14	8	12	17

Ce tableau montre que les bois de diamètre compris entre 3 et 6 cm représentent :

- plus de la moitié en nombre
- le quart en volume

(1) NOUVELLET, 1983

C'était donc dans ce cas une classe importante et qu'il ne fallait pas négliger. Par contre les bois de diamètre inférieur à 3 cm représentaient très peu en volume ; on doit du reste admettre que la prise en compte de tous les bois de diamètre inférieur à 3 cm pose de réels problèmes pratiques et que les statistiques dans ce domaine sont très probablement biaisées ; mais on s'aperçoit que même en doublant leur volume pour corriger cette sous-estimation il est encore négligeable.

Un autre chiffre intéressant a été établi lors d'un inventaire réalisé au Cameroun (région de Bibemi) dans une savane arborée très dégradée par les feux avec un volume total de 20 m^3/ha dont 20 % en volume constitué de bois de diamètre inférieur à 5 cm (MEURILLON 1980).

322 - Ecorce -

Les mesures de volume pour le bois de feu doivent être effectuées écorce comprise.

323 - Méthode de mesure -

Le principe de la mesure consiste à décomposer l'arbre, tige et branches ou billons cubés par l'une ou l'autre des formules classiques (Huber ou Smalian sont les plus connues). Plus les billons sont proches du cylindre et plus les formules tendant à donner des résultats identiques ont des chances d'être exactes. C'est ce qui incite à décomposer la tige en billons de faible décroissance c'est à dire souvent de faible longueur.

Sur un arbre abattu les mesures ne posent pas de problème. Sur un arbre debout il existe des instruments permettant de faire les mesures de diamètre :

- relascope de Bitterlich
- compas pentaprisme de Wheeler
- compas finlandais monté sur une perche

De telles mesures sur arbre debout sont toujours difficiles. Elles doivent être réservées aux mesures d'arbres de grande taille ou de valeur élevée que l'on n'a pas pu abattre et empiler. Parmi les trois instruments cités, seul le troisième mérite d'être détaillé. Il a en effet l'avantage de pouvoir être fabriqué avec peu de moyens : une perche d'éléments emboitables et une forme en bois.

Pour qu'un tel compas soit lisible à distance sans difficulté il est utile d'adopter un système de graduations compensées et à trois couleurs (blanc, noir et rouge) selon le schéma indiqué. Une telle graduation est déchiffrable à 10 ou 15 mètres même si les chiffres ne sont plus lisibles. La mesure peut être effectuée an centimètre près.

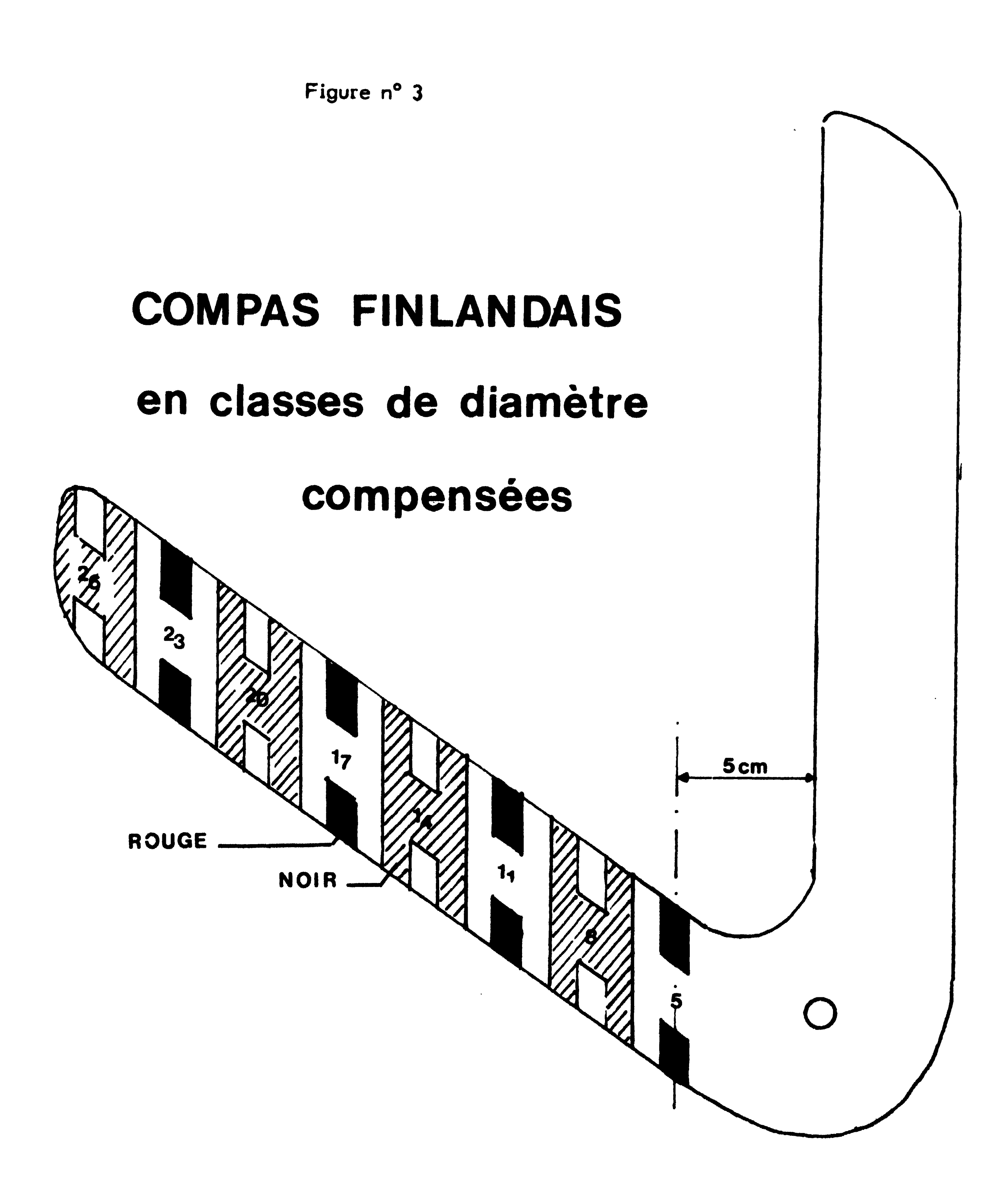

COMPAS FINLANDAIS
en classes de diamètre
compensées
23
17
11
5
5 cm
ROUGE
NOIR

Figure n° 3

33 - Mesures effectuées pour la détermination indirecte du volume -

Comme cela a été dit plus haut (§ 23 tarifs de cubage) on mesure sur les placettes les caractéristiques dendrométriques nécessaires à la détermination du volume par l'intermédiaire d'un tarif de cubage peuplement ou individuel.

331 - Mesure des diamètres de référence -

C'est la mesure faite au compas (ou au ruban) du diamètre (ou de la circonférence) à 1,30 m avec les particularités déjà énoncées dans l'étude 22 de la F.A.O. concernant les arbres penchés, les tiges jumelles.

Pour simplifier le dépouillement, ces mesures sont pointées par classe. L'amplitude des classes est choisie en fonction des valeurs extrêmes et de telle façon que l'on ait au moins une dizaine de classes. Pour des peuplements du type de ceux concernés par la présente étude on peut préconiser des classes de diamètre de 3 cm d'amplitude centrées sur les multiples de 3 ou des classes de circonférence de 10 cm d'amplitude centrées sur les valeurs multiples de 10. Le problème majeur de cette mesure réside dans le choix de la limite inférieure de prise en considération des tiges. On a pu étudier un certain nombre de comptages exhaustifs ou quasi exhaustifs, c'est à dire prenant une limite inférieure de comptage voisine de 0. Dans les formations considérées, même les moins fournies, un comptage exhaustif fournit plusieurs milliers de tiges ou brins à l'hectare avec de façon très générale une courbe des fréquences dont la concavité est au-dessus.

En prenant les tiges et brins de diamètre supérieur ou égal à 4 cm on ramène en général l'effectif à quelques centaines. Ces ordres de grandeur étant connus examinons l'influence du seuil choisi sur la surface terrière. On pourra considérer pour le raisonnement que volume et surface terrière sont proportionnels.

Les tiges et brins de diamètre inférieur à 4 cm représentent 5 à 10 % de la surface terrière totale dans des conditions de savane arborée (NHc/NHO 1) à 6 m^2/ha.

Les tiges et brins de diamètre inférieur à 8 cm représentent la moitié de la surface terrière dans les mêmes conditions.

On peut donc dans ces conditions adopter un seuil de diamètre de 4,5 cm de diamètre (ou 15 cm en circonférence) . Ce choix de limite 4,5 est guidé par le fait que si on fait des classes de diamètre de 3 en 3 cm la valeur 4,5 sera la limite inférieure de la classe 6 et si on fait des classes de circonférence de 10 en 10 cm la valeur 15 sera la limite inférieure de la classe 20.

$\pi \times 4,5 = 14,14$ $\qquad\qquad$ $\pi \times 4,8 = 15,0$

Le compas finlandais décritci-dessus peut être l'instrument utilisé pour ce pointage des diamètres. Il est d'un emploi plus rapide qu'un compas coulissant classique et tout aussi précis. L'observateur doit toutefois faire attention à viser dans l'axe des graduations.

332 - Classement des cépées buissonnantes -

On vient de constater que la limite inférieure de prise en compte des tiges pour la mesure du diamètre est difficile à déterminer car cela amène à négliger des brins qui peuvent être très nombreux et représenter une fraction non négligeable du volume.

Dans ces conditions on peut suggérer ce qui a été testé dans un cas réel (1) c'est à dire le pointage des pieds buissonnants dans une grille qui est établie au début de l'inventaire. Un exemple de grille est donné ci-après :

(1) C.T.F.T. Haute Volta - Rapport annuel 1981

Hauteur	Nombre de brins	Circonférence moyenne
Cépée de hauteur supérieure à 2 m	moins de 5 brins	circonf. < 10 cm A1 circonf. > 10 cm A2
	de 5 à 10 brins	circonf. < 10 cm B1 circonf. > 10 cm B2
	plus de 10 brins	circonf. < 10 cm C1 circonf. > 10 cm C2
Cépée de hauteur inférieure à 2 m	très fournie	D
	moyennement fournie	E
	peu fournie	F
	très peu fournie	G

Une fois cette grille établie il faut calculer pour chaque catégorie de cépée un volume et ceci doit être effectué par les opérateurs de l'inventaire eux-mêmes de façon à assurer une bonne concordance avec la réalité. L'étalonnage se fera sur une cépée type de chaque catégorie.

333 - Autre méthode de classement des tiges de petit diamètre -

Une autre méthode qui a été utilisée consiste à ne mesurer en diamètre que les brins ayant dépassé une certaine hauteur (5 mètres serait une bonne valeur). L'avantage de ce seuil-hauteur est que la séparation peut se faire assez bien à vue alors que pour le seuil-diamètre il faut mesurer la tige pour la classer.

Les tiges de hauteur inférieure au seuil sont dénombrées et le cas échéant classées en catégories de hauteur.

Une telle méthode a l'avantage de réduire considérablement le nombre de tiges à mesurer en diamètre.

Pour la ventilation en classes de hauteur des tiges de moins de 5 m on utilisera une perche gabarit compensée de 2 m en 2 m par exemple :

Classe 4 : de 3 à 5 m

Classe 2 : de 1 à 3 m

Classe 0 : de 0 à 1 m

Les résultats d'un pointage selon cette méthode vont être :

- effectifs par classe de hauteur des tiges de hauteur inférieure à 5 m
- effectifs par classe de diamètre des tiges de hauteur supérieure à 5 m

Pour préciser les conditions d'application de cette méthode on citera les chiffres obtenus par HOPKINS en 1962 dans l'étude d'une savane arborée dégradée par les feux (NHc/NHO 2) dans la réserve d'Olokemeji au Nigéria où toutes les tiges ont été mesurées en hauteur puis ventilées en classes.

Un intérêt de cette méthode réside dans le fait que l'on peut à partir de tels chiffres calculer l'arbre moyen (dg) pour la partie supérieure du peuplement (l'équivalent des arbres dominants dans un peuplement équienne). Il s'avère que ce diamètre dg a un rôle important pour caractériser la potentialité du site considéré.

4 - ETUDE DE LA PRODUCTIVITE

Dans les régions où l'approvisionnement en bois de feu des populations devient un problème grave il est important de connaître la productivité c'est à dire la quantité de bois que l'on peut prélever annuellement en maintenant le peuplement en état.

Par rapport aux formations forestières tropicales denses ces études sont plus importantes parce que la pression humaine est plus forte et que le potentiel de production peut être fortement dégradé par l'action humaine par méconnaissance des quantités que l'on peut prélever.

La planification des besoins et des ressources à une échelle régionale devra tenir compte certes des quantités de bois sur pied à un moment donné mais plus encore du taux de renouvellement de ce bois.

41 - Détermination de l'âge des peuplements -

La priorité en matière de productivité doit être donnée à la connaissance de l'âge des peuplements. Le schéma fréquemment adopté pour le prélèvement du bois dans les formations considérées est la coupe rase périodique. C'est la grosseur des brins jugée suffisante pour une exploitation qui règle la périodicité et celle-ci est donc fixée d'une façon empirique. Il est donc difficile de connaître l'âge d'un peuplement s'il n'y a pas eu un suivi continu et une consignation précise des interventions successives.

Le dispositif de placettes permanentes est donc le meilleur sinon le seul moyen sérieux pour évaluer les productivités des peuplements. On s'aperçoit dans la pratique qu'il y a très peu de placettes de ce type et cela mérite d'être souligné qu'il s'agit d'un besoin urgent de toutes les régions sèches concernées par les problèmes d'approvisionnement en bois de feu. Les modalités d'implantation de ces placettes ont été largement développées par ALDER dans l'étude F.A.O. n° 22. On ne dira jamais assez l'importance de la continuité dans ce domaine.

En dehors de placettes permanentes on peut connaître malgré tout l'âge des peuplements à condition d'avoir réuni les conditions suivantes :

1°/ l'histoire récente du peuplement même si elle n'est pas connue avec précision, peut se résumer à une coupe rase.

2°/ la date de cette coupe rase peut être déterminée par la lecture des cernes.

42 - Lecture des cernes -

Dans ce domaine l'étude de MARIAUX (1979) permet d'affirmer que pour bon nombre d'espèces tropicales des régions sèches la lecture des cernes est possible.

En faisant l'hypothèse d'une coupe rase de la placette à une date inconnue, l'examen d'un certain nombre de souches bien choisies dans les dimensions moyennes (pour éviter d'éventuels pré-existants) doit permettre de connaître la date de la coupe sans ambiguïté.

En l'absence de placettes permanentes établies depuis plusieurs années c'est actuellement le seul moyen de connaître l'âge d'un peuplement et par conséquent de donner la productivité d'une formation.

43 - Evolution de la productivité dans le temps -

Pour toute formation forestière subissant périodiquement un renouvellement total par coupe rase et régénération naturelle ou artificielle (plantation) on peut définir les courbes d'évolution dans le temps : (A = Age) :

1°/ du matériel ligneux sur pied V

2°/ de la productivité ou production moyenne annuelle $p = V/A$

Ces deux courbes se déduisent l'une de l'autre. On ne parle pas de la production dans un intervalle de temps restreint en cours d'évolution car cela n'a pas d'intérêt pour les formations concernées et en outre il y a de fortes chances pour que cet accroissement instantané ne corresponde pas à la productivité.

Il n'y a pas actuellement suffisamment de données et les conditions sont trop diverses pour que l'on puisse donner des exemples de courbes d'évolution.

On peut toutefois dégager des expériences deux hypothèses :

431 - La production est maximale pendant les premières années et il faut donc des révolutions rapides. C'est ce qui ressort de l'analyse de PARK & al (1982). Dans la région de Las Maderas au Nicaragua, sous une pluviométrie annuelle variant de 850 à 1150 mm, il a été constaté que le taux de croissance chutait très rapidement autour de l'âge de 10 ans et même avant si bien que la révolution pratiquée est inférieure à 6 ans.

432 - La production est maximale autour de 20-25 ans et c'est cet âge qui est considéré comme favorable du point de vue de la coupe.

Il est actuellement difficile de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses et le fait qu'elles puissent être faites montre qu'il y a encore beaucoup d'inconnu dans ce domaine. On doit quand même dire que bien que la deuxième soit la plus communément admise il y a un certain nombre de cas où la coupe à 25 ans intervient trop tard pour assurer une production maximale. C'est le passage des feux et l'intensité des dégâts provoqués à la végétation pendant les premières années qui peut modifier sensiblement la croissance des premières années. En l'absence de dégâts dûs au feu la production doit passer par un maximum dans les toutes premières années après la coupe.

En faveur de cette hypothèse clairement énoncée par PARK & al 1982 on peut également prendre en considération les différentes mesures de surface terrière citées dans son rapport par ABAYOMI, J.O. L'accroissement donné est très généralement un accroissement courant. La comparaison avec la surface terrière montre qu'ils ont été mesurés dans la phase tardive de la vie du peuplement, le rapport $G/\Delta G$ étant la plupart du temps supérieur à l'âge probable du peuplement.

Chiffres d'accroissement en surface terrière cités dans le rapport de ABAYOMI

Localisation	Type de végétation	G Surface terrière (m^2/ha)	ΔG Accrois. surf.ter. $m^2/ha/an$	$\frac{G}{\Delta G}$ (années)	Source
AFAKA, Nigéria	Savane Nord Guinéenne	7,1	0,24	30	KEMP, 1963
IBP Research Site ZAIRE	Savane miombo	13,3	0,30	34	MALAISSE, 1978
NDOLA, ZAMBIE	Savane miombo	16,1	0,15	107	ENDEAN, 1968
MUA LIVULEZI MALAWI	Savane à bambous	15,9	0,20	79	EDWARDS, non publié cité dans ABAYOMI, J.O.
	Savane arbustive à bambous	11,2	0,25	45	
	Savane boisée	15,0	0,21	71	
	Savane arborée	4,3	0,47	9	
BUNDA MALAWI	Savane recépée	11,9	0,57	21	EDWARDS, idem

44 - Les indices de productivité -

Un indice de productivité est défini en partant tout d'abord d'une hypothèse qu'il existe dans l'absolu dans chaque site une production potentielle intrinsèque pour une formation forestière donnée occupant le sol.

Comme cela est exposé dans ALDER pour les peuplements homogènes et équiennes la hauteur dominante atteinte à un âge donné constitue un bon indice de productivité (ou indicateur de fertilité).

441 - Hauteur dominante -

La hauteur dominante est particulièrement peu adaptée au cas des peuplements étudiés qui sont hétérogènes et il n'y a pas de cas où cette hauteur a été utilisée comme indice. Ceci provient aussi bien de la forme des arbres que de la difficulté qu'il y aurait à définir le nombre de dominants. Par contre deux expériences semblent conclure à l'intérêt d'un "diamètre dominant".

442 - Diamètre dominant -

On peut comprendre que le diamètre moyen sans aucune limitation du seuil inférieur ne soit pas significatif puisque dans ces formations on a une distribution en diamètre à concavité positive. Par contre si on ne retient que les arbres ayant dépassé un certain diamètre, leur diamètre moyen sera un reflet des conditions de croissance en diamètre des individus soumis à une faible concurrence. En pratique il est beaucoup plus commode de fixer un seuil de hauteur plutôt qu'un seuil de diamètre pour faciliter les mesures ; cela correspond mieux à la définition des arbres soumis à une faible concurrence.

443 - Expression du diamètre en fonction de l'âge -

Les données individuelles diamètre x âge recueillies par MARIAUX (1964 et 1979) ont permis à LILLELUND (1981) de construire une loi statistique :

$$\frac{D}{A} = 0{,}728 + 0{,}0059\ P \quad (1)$$

D = diamètre en mm

A = âge en années

P = pluviométrie en mm

Cette relation constitue un bon modèle de la relation que l'on devrait trouver entre : le diamètre dominant D_O des peuplements, leur âge et la pluviométrie.

Il n'est probablement pas nécessaire dans une première étape de chercher un modèle plus complexe car ce qui fait le plus défaut actuellement ce sont les mesures disponibles. Par ailleurs on sait que si les accroissements en hauteur ont tendance à plafonner avec l'âge il n'en est pas de même pour l'accroissement en diamètre.

On peut donc adopter le principe d'un réseau de courbes tel que celui obtenu à partir de l'équation (1)

$$D = 0{,}728\ A + 0{,}0059\ AP$$

ou d'une équation voisine.

444 - Expression de la productivité en fonction de la pluviométrie -

A la suite de l'examen d'un certain nombre de résultats d'expériences CLEMENT (rapport -source AF) propose l'expression suivante de la productivité p en m^3/ha/an :

$$p = 0{,}05129 + 1{,}08171\ P^2$$

où P est exprimé en mètres (pluviométrie).

Cette productivité fait donc abstraction de l'âge c'est à dire que l'on suppose l'âge optimum d'exploitation déjà connu. Dans le plus grand nombre des expériences ayant servi à établir cette formule l'âge d'exploitation se situe vers 20 ans.

En fait il semble que l'âge auquel il convient d'exploiter soit variable avec la station. Plus la pluviométrie est forte et plus l'exploitation pourra attendre.

En supposant que l'âge auquel on exploite croît linéairement avec la pluviométrie :

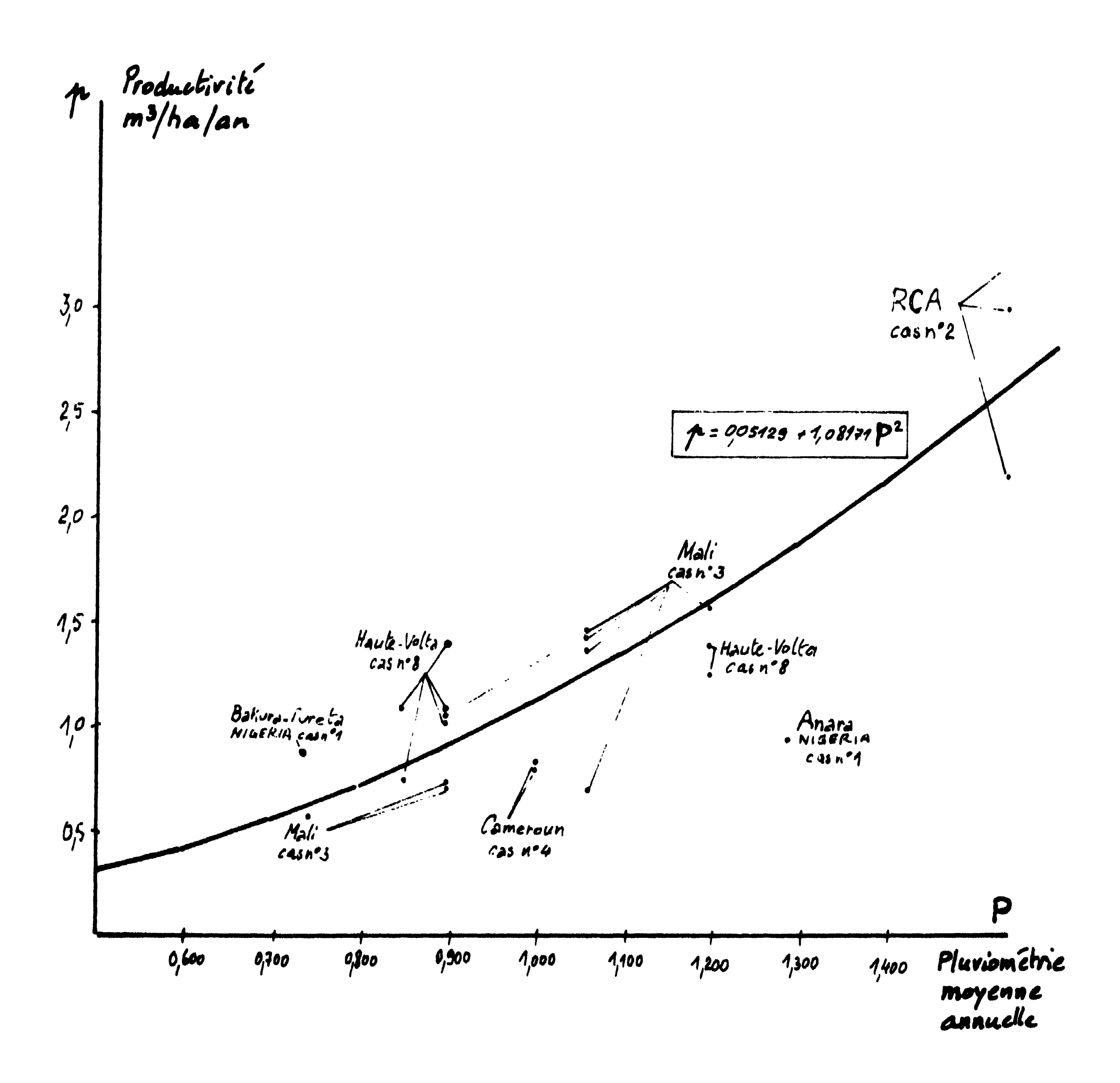
15 ans pour P = 600 mm

30 ans pour P =1200 mm

on a : A = P/40 = 0,025 P

Graphique n° 5

Productivité constatée en fonction de la pluviométrie
(extrait rapport CLEMENT J.)



5 - CONCLUSION

En conclusion de cette synthèse qui n'a pas la prétention de faire le tour du sujet mais plutôt de mettre en évidence des problèmes, quatre points seront évoqués.

51 - Importance de l'approvisionnement en bois de feu dans les régions sèches -

Depuis une dizaine d'années la situation d'un certain nombre de pays s'aggrave. La carte de situation du bois de feu produite par la F.A.O. en 1981 souligne que le déficit en bois de feu touchait en 1980 plus d'un milliard de personnes.

Les ressources énergétiques sont vitales pour l'humanité entière. Dans de nombreux pays en développement ce n'est ni le pétrole ni l'électricité qui font défaut mais le bois de feu car c'est la forme de ressource énergétique la plus commune et la plus facile à mettre en oeuvre.

52 - Pénurie des renseignements sur les formations forestières sèches -

Cette pénurie trouve son explication à la fois dans le manque d'intérêt économique pour l'étude de ces formations et dans le manque de continuité de l'action.

Cette pénurie touche aussi bien les volumes à l'hectare, les productions annuelles, la variabilité des grandeurs, les tarifs de cubage. De ce fait les résultats obtenus sont très épars et il est difficile d'établir un lien entre eux c'est à dire de concevoir des modèles de production permettant de faire des prévisions.

53 - Différences entre les formations forestières sèches et les formations forestières denses -

Elles sont à souligner car il ne faut pas adopter les méthodes de mises au point pour ces dernières formations sans réflexion approfondie :

- La télédétection peut conduire dans ces formations plus ouvertes à des méthodes d'estimation plus fiables qu'en forêt dense. Il faut donc lui conférer un rôle accru.

- Les placettes d'échantillonnage seront généralement plus faciles d'accès et pourront donc être plus dispersées tout en réduisant leur taille.

- Les cubages doivent être faits par mesure du volume d'encombrement de bois empilés et non par mesure de volume plein de grumes. Dans ces conditions on remplacera l'échantillon-arbre par l'échantillon-placette et le tarif arbre par un tarif peuplement.

54 - Possibilité d'aménagement des formations naturelles -

De nombreuses études ont montré la supériorité de production des formations artificielles sur les formations naturelles et ceci a conduit à un certain désintérêt pour l'aménagement des formations naturelles. Or il n'est pas sûr que d'un point de vue global et compte tenu des coûts importants d'établissement et d'entretien des formations artificielles, cette solution soit la meilleure. C'est peut-être une solution dans les cas où il y a urgence à résoudre un problème mais il est à souhaiter que l'on revienne dans de nombreux cas à un aménagement. L'exemple de l'Inde est à ce sujet intéressant à donner et on s'aperçoit qu'il rejoint beaucoup les méthodes pratiquées dans de nombreux pays développés à l'époque où le bois de feu était quasiment la seule ressource énergétique.

Ces méthodes se caractérisent par :

- la protection contre le feu ou plus facilement la pratique des feux contrôlés
- une courte rotation des coupes (20 ans d'ordre de grandeur)
- la possibilité de maintenir des arbres d'une coupe sur l'autre pour différents usages (bois d'oeuvre, fruits, environnement)

REVUE DES ETUDES EFFECTUEES ET DES RESULTATS ACQUIS

L'étude des rapports-source et de quelques autres documents a permis de mettre en évidence les résultats acquis à ce jour dans la connaissance de la production en volume des formations forestières mixtes et graminéennes.

Une première constatation s'impose : peu de travaux ont été menés dans ce type de milieu. Il est apparu très rapidement aux forestiers que les plantations avaient dans les mêmes conditions une productivité très supérieure et que par conséquent il ne semblait pas urgent de dépenser des efforts à mieux connaître les conditions de croissance des formations naturelles. C'est notamment la conclusion de JACKSON et OJO (1971) qui disposait pour effectuer la comparaison des résultats d'expériences menées de 1939 à 1960 au Nigéria dans des formations naturelles de différents types.

On peut distinguer trois types d'expériences ou études :

1 - Des expériences conduites pendant un temps assez long (20 ans) avec des opérations de dénombrement effectuées avec continuité et des mesures de volume précises.

Trois de ces expériences ont été rapportées. Elles seront analysées avec un certain détail dans l'optique d'en tirer un maximum de profit tant sur le plan de la productivité des formations et de leur évolution dans le temps que sur le plan méthodologique.

2 - Des opérations d'inventaire conduites à une échelle assez importante pour que soit prise en compte l'hétérogénéité du milieu considéré. Ces résultats permettant de se faire une bonne idée de la variabilité des caractères mesurés ainsi que des liens existants entre eux.

3 - Des études sur des surfaces limitées avec la mesure de certains caractères mais pas toujours du volume. Ces résultats sont intéressants à citer dans la mesure où cela montre les défaut liés à des méthodes insuffisamment approfondies.

Expériences du Type 1

Cas n° 1

NIGERIA -

Six expériences semblables ont été installées en 1939 dans six zones climatiques différentes (ONOCHIE - 1964). L'objectif était "déterminer et comparer les effets des différents traitements sur une zone de savane forestière".

Les traitements étaient :

A - Protection complète du feu

B - Feu précoce tous les ans

C - Feu précoce une année sur deux

D - Feu précoce une année sur quatre

E - Feu tardif annuel

chacun des traitements étant mené sur trois sous-parcelles :

1 - non exploitée

2 - exploitée avec coupe à 1,30 m du sol

3 - exploitée avec coupe rez-terre

Sur les six expériences initiales trois ont été abandonnées et les trois autres ont fait l'objet de rapports :

OLOKEMEJI	par KEAY et CHARTER (1960)
BAKURA-TURETA	par ONOCHIE (1964)
ANARA	par ONOCHIE (1961)

Seules les deux dernières seront relatées ici.

Etude en forêt de BAKURA-TURETA -

Situation géographique : 75 km sud-est de SOKOTO

Latitude : 12°39' Nord

Référence : ONOCHIE (1964)

Pluviométrie moyenne : 730 mm

Type de station : sol sableux ou sablo-argileux avec présence d'un horizon concrétionné. Absence presque complète d'humus.

Type de végétation : zone soudanienne - savane à combretacées, tapis herbacé continu.

Déroulement des opérations -

En 1939 installation du dispositif comportant 15 parcelles de 1,1 ha dont toute la surface sera mesurée. Comptage à partir de 10 cm de circonférence (3 cm de diamètre). Exploitation sans mesure des volumes.

De 1939 à 1960 il y a eu plusieurs mensurations intermédiaires.

En 1960 mensuration en circonférence ; coupe à blanc et mesure des volumes d'encombrement par parcelle, sauf la parcelle du traitement A non coupée en 1939 qui a été laissée sur pied.

Cas n° 1

Etude en forêt d'ANARA -

Situation géographique : 20 km nord-est de KADUNA

Latitude (approx.) : 10°45' Nord

Référence : ONOCHIE (1961)

Pluviométrie moyenne : 1280 mm

Type de station : sur sous-sol granitique on trouve des sols variables profonds argileux gravillonneux. La végétation est du type savane Nord Guinéenne et correspond à la zone 17 de la carte de végétation de l'A.E.T.F.A.T.

Déroulement des opérations -

En 1939 installation du dispositif comportant 15 parcelles dont seule la partie centrale sera mesurée (0,2 ha). Comptage à partir de 10 cm de circonférence (3 cm de diamètre). Exploitation selon le schéma prévu et mesure des volumes d'encombrement.

En 1945, 1950 mesures (en hauteur pour les placeaux qui avaient été recépés).

En 1961 coupe à blanc de toutes les parcelles (partie centrale) sauf celle du traitement A (sous-parcelle non exploitée) et mesure de la production en volume d'encombrement.

Résultats des mesures de volume -

Les résultats tiennent dans le tableau et le graphique ci-après.

Des remarques doivent être faites sur la présentation du tableau.

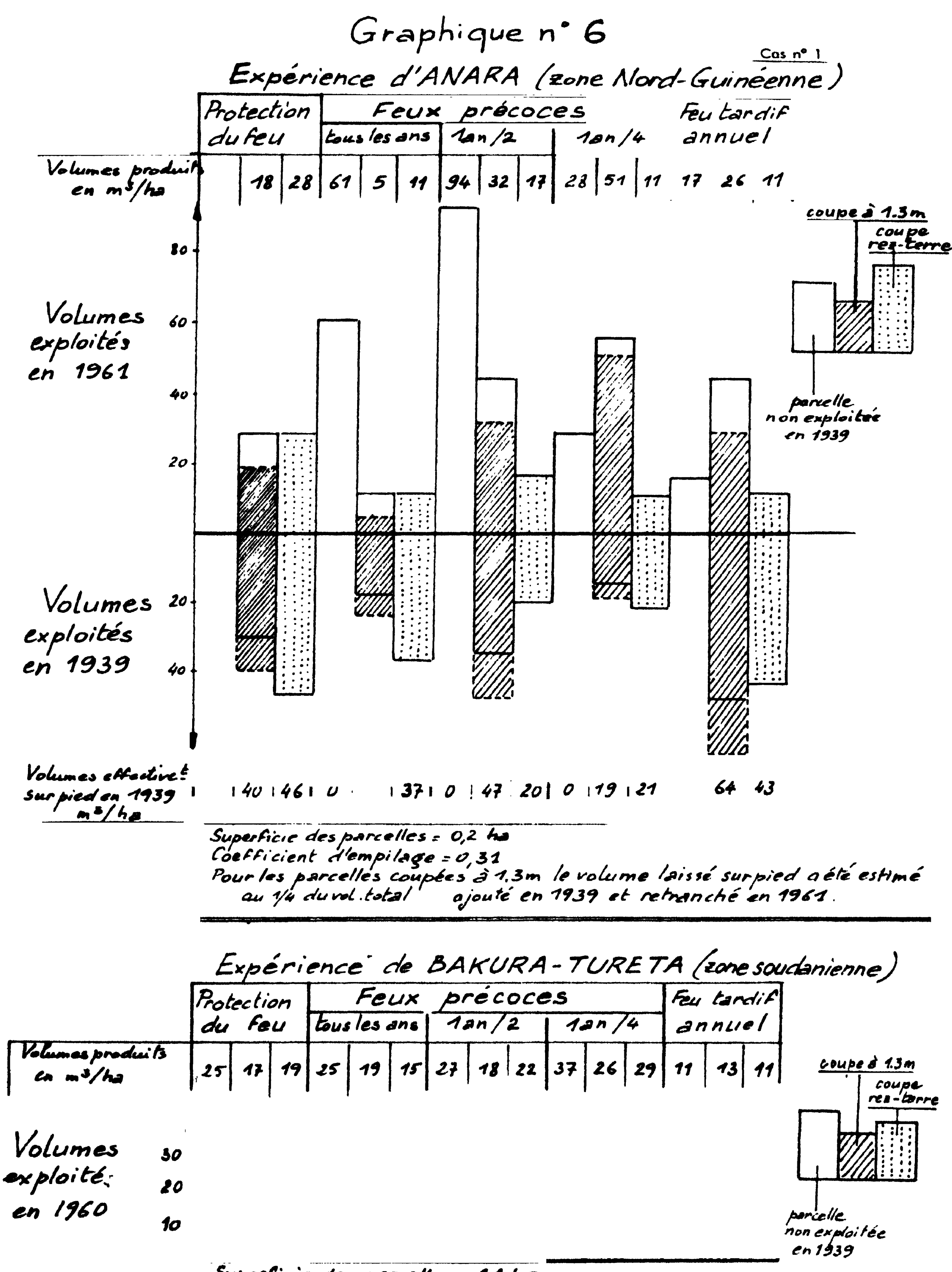
Nota 1 - Pour donner des résultats permettant des comparaisons, il a fallu convertir les chiffres d'origine exprimant des volumes d'encombrement en volumes pleins. Le coefficient d'empilage adopté est 0,31. C'est celui qui avait été retenu par JACKSON et OJO (1971) lors de l'interprétation de ces résultats. Il apparaît faible comparativement à ceux qui ont été mesurés par ailleurs. Il est impossible actuellement de proposer une meilleure estimation.

Nota 2 - La coupe à 1,3 m a eu pour effet de laisser sur place une part non négligeable du volume. Une valeur minimale de ce volume peut être obtenue en prenant le chiffre de surface terrière et en le multipliant par 1,3 (section à 1, 3 m x 1,3 m de longueur).

Or pour l'expérience de BAKURA-TURETA on dispose pour les 14 parcelles coupées à blanc en 1960 d'un chiffre de volume exploité et d'un chiffre de surface terrière. On trouve 4,13 m²/ha de surface terrière pour 22,9 m³/ha de volume plein, donc le volume entre 0 et 1,3 m représenterait 23,4 % du volume total, chiffre que l'on arrondit à 1/4.

Sur les graphiques on a donc représenté en tiret dans le cas de la coupe à 1,3 m le volume supplémentaire qu'il faudrait ajouter à celui de l'exploitation faite en 1939 et le même volume à retrancher de l'exploitation faite en 1961. Pour l'expérience de BAKURA-TURETA en l'absence de la production en volume en 1939 on a retranché 1/4 de la production en volume de 1960.

Nota 3 - Le chiffre de volume pour la parcelle non exploitée en 1960 sur l'expérience de BAKURA, a été obtenu à partir du chiffre de surface terrière mais en tenant compte des constatations qui seront faites plus loin sur la surface terrière, on a pris 25 m³/ha.


Graphique n° 6
Cas n° 1
Expérience d'ANARA (zone Nord-Guinéenne)
Protection du feu
Feux précoces
tous les ans
1an/2
1an/4
Feu tardif annuel
Volumes produits en m³/ha
18 28 61 5 11 94 32 17 28 51 11 17 26 11
coupe à 1.3m
coupe ras-terre
parcelle non exploitée en 1939
Volumes exploités en 1961
80
60
40
20
Volumes exploités en 1939
20
40
Volumes effectivt sur pied en 1939 m³/ha
40 46 0 37 0 47 20 0 19 21 64 43
Superficie des parcelles = 0,2 ha
Coefficient d'empilage = 0,31
Pour les parcelles coupées à 1,3m le volume laissé sur pied a été estimé au 1/4 du vol. total ajouté en 1939 et retranché en 1961.
Expérience de BAKURA-TURETA (zone soudanienne)
Protection du feu
Feux précoces
tous les ans
1an/2
1an/4
Feu tardif annuel
Volumes produits en m³/ha
25 17 19 25 19 15 27 18 22 37 26 29 11 13 11
coupe à 1.3m
coupe ras-terre
parcelle non exploitée en 1939
Volumes exploités en 1960
30
20
10
Superficie des parcelles = 1,1 ha
Coefficient d'empilage = 0,31
Pour les parcelles coupées à 1.3m le volume a été réduit pour tenir compte de la partie laissée sur pied en 1939

Cas n° 1

Nota 4 - L'hétérogénéité des résultats de l'expérience d'ANARA est due :

- à l'hétérogénéité des conditions de milieu soulignée par ONOCHIE (1961)

- à la taille des parcelles sur lesquelles on a effectué les mesures (0,2 ha).

CONCLUSIONS -

1 - Niveau de la production en volume -

Bien que l'hétérogénéité des résultats obtenus dans l'expérience d'ANARA affaiblisse quelque peu la validité des conclusions, il apparaît que la production en volume est à peine supérieure dans la zone Nord Guinéenne. Sur une période de 21 années après coupe rase, on peut obtenir une production maximale de 2,3 m^3/ha/an mais une production moyenne de 0,95 m^3/ha/an.

Dans la zone soudanienne, la moyenne est de 0,9 m^3/ha/an.

2 - Effets des feux -

La protection totale contre les feux ne peut être assurée sur une longue période même dans une expérience. Il y a donc eu des feux accidentels. On s'est aperçu que ces feux accidentels étaient plus dommageables que des feux volontaires et contrôlés effectués à la bonne période. Une périodicité de deux ou quatre ans paraît plus favorable que tous les ans et dans tous les cas, les feux tardifs sont défavorables.

3 - Effet de la coupe -

Si on se limite aux traitements avec feux précoces, et que l'on compare la production en volume pendant la période de 20 années après la coupe, soit au volume initial (expérience d'ANARA), soit au volume sur les parcelles non coupées (les deux expériences) on s'aperçoit que :

- dans la zone soudanienne, le volume 20 ans après est très peu inférieur à celui sur les parcelles non coupées. Cela voudrait dire que l'on atteint autour de cet âge la valeur maximale de ce volume compte tenu de la mortalité naturelle et des feux. Le prolongement d'une telle expérience serait à ce titre très instructive mais on peut déjà faire l'hypothèse d'un plafonnement du volume autour de 30 m^3/ha (fourchette 25-35 m^3/ha) à 25 ans avec des feux contrôlés périodiques.

- dans la zone Nord Guinéenne, malgré l'hétérogénéité, on peut constater que dans la majorité des traitements le volume en 1961 dans les parcelles coupées en 1939 était inférieur au volume initial et au volume atteint dans les parcelles non coupées. Cela voudrait dire qu'à 20 ans les peuplements n'ont pas encore atteint leur maximum de développement en volume. On peut faire l'hypothèse d'une possibilité d'atteindre 70 m^3 à 40 ans avec des feux contrôlés.

Cas n° 1

Résultats des comptages effectués à l'âge de 20 ans (en 1959)

	Protection du feu	Feux précoces			Feu tardif annuel
		tous les ans	1 an/2	1 an/4	
	A	B	C	D	E
Expérience d'ANARA (zone Nord Guinéenne)					
Effectifs à l'hectare					
Parcelles non coupées en 1939	770	450	1.035	1.030	570
Parcelles coupées à 1,3 m	770	395	860	975	775
Parcelles coupées rez-terre	960	520	875	950	285
Répartition par catégorie diamètre					
Parcelles non coupées en 1939					
3 cm < diamètre < 9,5 cm	58 %	32 %	62 %	72 %	74 %
9,5 cm < diamètre < 19 cm	33 %	41 %	28 %	27 %	26 %
19 cm < diamètre < 28,5 cm	8 %	25 %	8 %	1 %	
28,5 cm < diamètre	1 %	2 %	2 %		
Expérience de BAKURA-TURETA (zone soudanienne)					
Effectifs à l'hectare					
Parcelles non coupées en 1939	1.424	769	883	1.315	294
Parcelles coupées à 1,3 m	1.548	967	879	1.518	272
Parcelles coupées rez-terre	2.378	1.299	1.294	1.700	370
Répartition par catégorie diamètre					
3 cm < diamètre < 8 cm	73 %	70 %	77 %	74 %	73 %
8 cm < diamètre < 16 cm	23 %	26 %	21 %	25 %	23 %
16 cm < diamètre	4 %	4 %	2 %	1 %	4 %

Résultats des mesures en surface terrière à l'âge de 20 ans -

Expérience d'ANARA (zone Nord-Guinéenne) -

Les chiffres n'étant pas fournis dans le rapport d'ONOCHIE il n'a été possible de calculer que des valeurs approximatives pour les parcelles non coupées en 1939 à partir de la ventilation par catégorie de diamètres.

Cas n° 1

Unité = m²/ha	A	B	C	D	E
Parcelles non coupées en 1939	-	-	-	3,8	4,5

Expérience de BAKURA-TURETA (zone soudanienne)

Unité = m²/ha	A	B	C	D	E
Parcelles non coupées en 1939	8,3	5,1	4,2	6,3	1,6
Parcelles coupées à 1,3 m	6,2	3,2	3,4	4,7	1,2
Parcelles coupées rez-terre	7,0	3,8	4,5	5,4	1,6

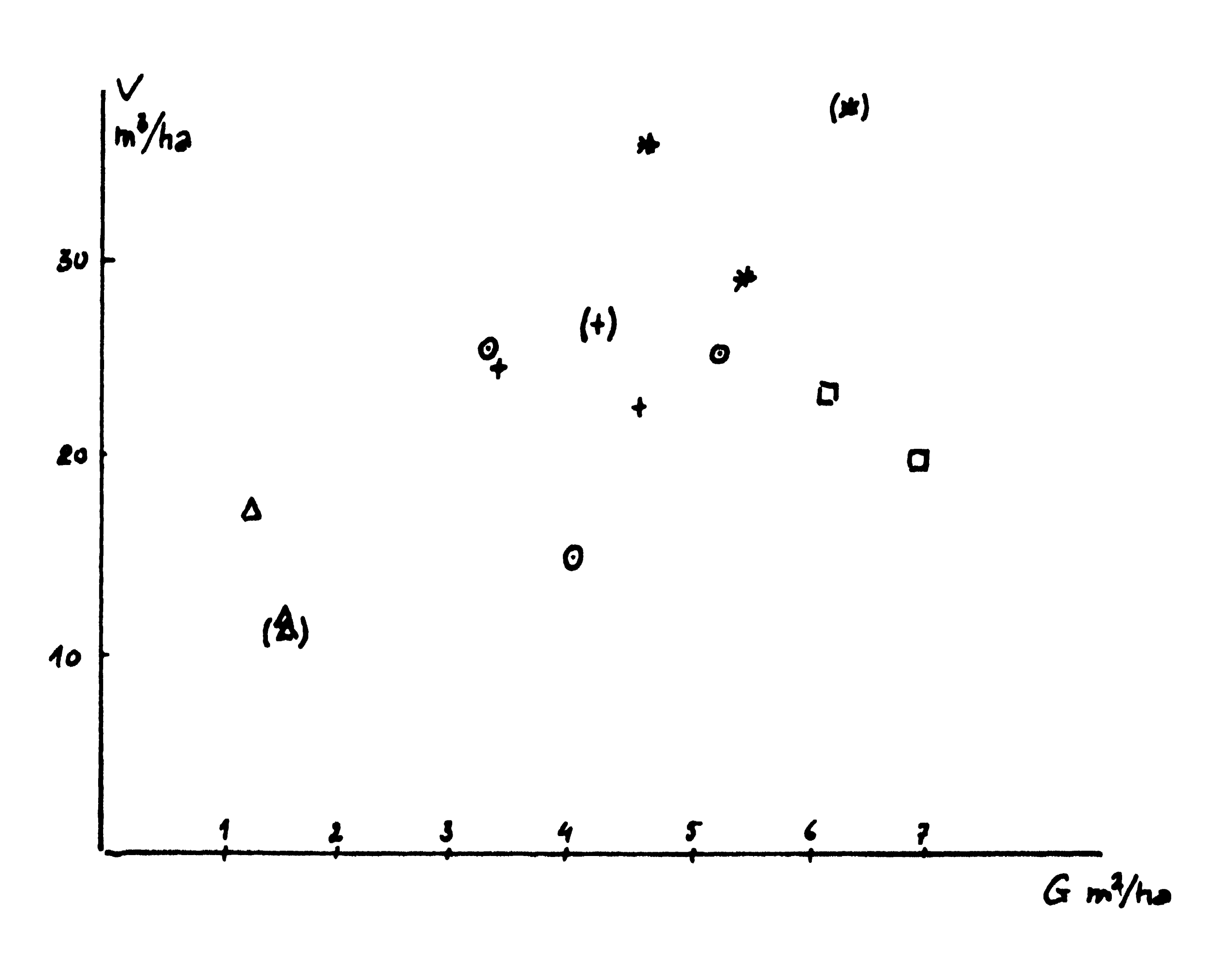
Ces chiffres ont été disposés sur un graphique de façon à faire apparaître la relation volume x surface terrière.

Cas n° 1

Graphique n° 7

Expérience de BAKURA-TURETA (zone soudanienne) -

Mesures effectuées à l'âge de 20 ans sur parcelles de 1,1 ha



Traitements	□	Protection du feu	
de 0 à 20 ans	⊙	Feux précoces	1 annuel
(1939-1959)	+	Feux précoces	1 année/2
	✱	Feux précoces	1 année/4
	Δ	Feux tardifs annuels	
entre ( )		Parcelles non coupées en 1939	

Volume = volume d'encombrement x 0,31

Cas n° 2

REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE -

Une parcelle de 13 hectares a été délimitée et protégée contre les feux en 1951.

Situation géographique : 1,5 km au nord-ouest de BAMBARI

Pluviométrie moyenne annuelle : 1.550 mm

Type de station : sol ferrallitique sableux à sablo-argileux avec horizon concrétionné et cuirassé en profondeur. Le peuplement d'origine était une savane arborée très appauvrie.

Déroulement des opérations -

En 1959 une grande partie a brûlé et en 1960 toute la parcelle a été recépée. A cette occasion l'abattage et l'enstérage du bois sur deux bandes de 0,2 ha a donné les résultats suivants :

Bande A	42,5 st/ha
Bande B	45 st/ha

soit en moyenne 43,75 stères/ha.

Il n'a pas été mesuré de coefficient d'empilage. En adoptant 0,50 le chiffre que l'on obtient est donc 22 m³/ha.

En 1978, 18 ans après, on a de nouveau coupé à blanc sur les deux bandes de 0,2 ha le peuplement qui se présentait sous forme d'un épais buisson de 8 à 10 m de hauteur maximum dominé par Hymenocardia acida.

On a obtenu sur les deux bandes 105,5 stères/ha, soit en prenant le même coefficient d'empilage de 0,50 une production de 53,75 m3 en 18 ans = 3 m³/ha/an.

Toujours en 1978, afin de conforter ce chiffre et profiter d'une parcelle dont on connaissait bien l'historique, a été réalisé un inventaire par sondage sur l'ensemble des 13 hectares. On a disposé pour cela systématiquement en bandes continues 24 placettes carrées de 6,25 ares (25 m x 25 m). Les bandes étant espacées de 200 m, la surface totale des placettes est donc de 1,5 ha.

Dans chaque placette on a :

- mesuré les caractéristiques dendrométriques suivantes :
  . hauteur des arbres de moins de 5 mètres de hauteur
  . circonférence des arbres de plus de 5 mètres de hauteur

- effectué une coupe à blanc et empilage des bois de façon à mesurer le volume d'encombrement. Les bois ont été séparés en petits (diamètre $<$ 3 cm) et gros (diamètre $>$ 3 cm) de telle sorte qu'on a pris comme coefficient d'empilage les chiffres obtenus au Cameroun dans une autre opération où cette ventilation avait été faite : (étude de cas n° 4)
  . coefficient d'empilage des petits bois = 0,24
  . " " gros bois = 0,43

Résutats de l'inventaire : 57,2 m³/ha

Le chiffre de production annuel sur 18 ans est donc : 3,2 m³/ha/an

<u>Cas n° 2</u>

A l'occasion de cette opération il a été étudié la corrélation entre les volumes V_1 des petits bois V_2 des gros bois et V_3 total et les caractéristiques.

x_i nombre d'arbres des 4 classes de hauteur h_i

$$i < h_i < i + 1 \qquad i = 1 \text{ à } 4$$

x_5 nombre d'arbres de hauteur supérieure à 5 m

C_5 circonférence moyenne de ces arbres

Il a été constaté :

- que les variables x_1 à x_4 pouvaient être regroupées et n'interviennent que pour expliquer V_1
- que la variable x_5 permet d'évaluer V_2 et même V_3
- mais que la variable combinée x_5 C_5 donne une meilleure estimation

Ces résultats apportent des renseignements précieux sur le plan méthodologique.

Cas n° 3

Expériences du Type 2

MALI -

Inventaire des ressources forestières en plein et par sondage sur une superficie totale de 470 ha (1976-1977) - Référence : MOREL (1981).

Cet inventaire a été mené par le Service des Eaux et Forêts dans le cadre de l'Opération Aménagement et Production Forestière (O.A.P.F.) avec la collaboration des élèves de l'I.P.R. de KATIBOUGOU.

En 1976, trois blocs d'une surface totale de 50 hectares ont été inventoriés en plein et 4 hectares exploités à blanc.

En 1977, six blocs d'une surface totale de 220 hectares ont été inventoriés en plein et un bloc de 200 hectares sondé au taux de 18 % ; 10 hectares ont été exploités à blanc.

Localisation et pluviométrie des blocs :

		Pluviométrie
Blocs 1 à 4	Forêt des Monts Mandingues région de BAMAKO	1.050 mm
Blocs 5 à 8	Forêt de la Faya région de BAMAKO	900 mm
Bloc 9	Forêt de Dioforongo 30 km sud-ouest de SEGOU	750 mm
Bloc 10	Forêt de Bougouni Foulaboula	1.200 mm

Méthode d'inventaire des blocs 1 à 9 :

Inventaire par comptage en plein par carreaux de 0,20 ha de toutes les tiges à partir du diamètre 2,5 cm ; les tiges ont été botaniquement identifiées et classées par catégorie de diamètre de 5 en 5 cm. Les résultats ont été regroupés au niveau de 5 carreaux (1 ha) puis au niveau du bloc. Ce travail considérable a permis de déterminer le coefficient de variation de la surface terrière :

- au niveau d'un carreau (0,2 ha) de l'ordre de 37 %
- au niveau d'un groupe de 5 carreaux (1 ha) de l'ordre de 15 %

Ceci permet de vérifier la loi empirique connue : le coefficient de variation est inversement proportionnel à la racine carrée de la surface de la placette échantillon (F.A.O. - Manuel d'inventaire forestier p. 179)

$\sqrt{\text{Rapport des surfaces}} = \sqrt{5} = 2,2$

Rapport inverse des coefficients de variation $= \frac{37}{15} = 2,5$

On retiendra également qu'avec des placettes de 10 ares la surface terrière aurait un coefficient de variation de l'ordre de 50 %.

Méthode d'inventaire du bloc 10 -

Le bloc de 200 hectares a été découpé en 18 bandes de 20 mètres de large et 1.000 mètres de long dans lesquelles on a effectué le même comptage que ci-dessus.

Cas n° 3

Détermination des volumes -

En 1976 une exploitation a été effectuée sur un bloc de 4 hectares situé en forêt des Monts Mandingues (même localisation que les blocs 1 à 4). Ces 4 hectares ont été divisés en 40 placeaux de 10 ares inventoriés sur pied dans les mêmes conditions que l'inventaire ci-dessus mentionné, puis on a procédé aux opérations suivantes :

- extraction et façonnage des bois morts
- abattage rez-terre
- ébranchage, tronçonnage
- cubage des bûches par mesure au ruban de la section médiane
- pesée par placeau
- enstérage soigné

Les résultats obtenus sont : G = 6,8 m^2/ha
V = 34 m^3/ha

- coefficient d'empilage = 0,50
- poids : 1 m^3 pèse une tonne à l'état vert, 800 kg 4 mois après
- 1 m^2 de surface terrière correspond à 10 stères ou 5 m^3, ce qui équivaut à la relation $V = 5\ G$ (V en m^3, G en m^2)

C'est donc cela le tarif peuplement établi sur les 40 placeaux.

Il a été calculé trois autres régressions linéaires :

$V = a + bD$

$V = a + bG$

$V = G\ (a+bD)$

C'est la deuxième qui donne le résultat le meilleur.

En 1977 une exploitation analogue a été effectuée sur un bloc de 10 ha situé dans la même forêt. Les conditions étaient légèrement modifiées :

- absence de mesure du volume plein (coefficient d'empilage)
- placeaux de 20 ares au lieu de 10 ares
- empilage moins soigné qu'en 1976

Résultats obtenus :

- 1 m^2 de surface terrière donne 10,75 stères

Admettant que la relation $V = 5\ G$ reste vraie, on en conclut que 10,75 stères représentent 5 m3 plein, c'est à dire que le coefficient d'empilage non mesuré serait égal à 0,46.

Sur les 10 hectares on obtient avec ce coefficient d'empilage de 0,46 :

G = 5,84 m^2/ha

V = 28,9 m^3/ha

Ceci a permis de calculer plusieurs tarifs peuplement en faisant intervenir la surface terrière à l'hectare G et D le diamètre de l'arbre moyen.

On obtient :

$V = 5{,}9\ G - 5{,}5$

$V = 262\ D + 4{,}59\ G - 21{,}6$

} V en m^3/ha G en m^2/ha D en m

Cas n° 3

$V = (38\ D + 1{,}44)\ G$ D en m - G en m^2/ha - V en m^3/ha

Résultats principaux par bloc

N° bloc	Surface (ha)	N/ha	G/ha (m^2/ha)	V/ha (m^3/ha)	Age présumé (années)	Diamètre arbre moyen (cm)
1	20	1.198	7,3	35	26	8,8
2	10	1.053	7,6	38	30	9,6
3	40	1.745	7,6	33	25	7,5
4	40	696	4,6	24	37	9,2
5	20	406	6,5	40	60	12,1
6	40	541	6,5	41	42	12,4
7	40	593	5,8	34,5	50	11,2
8	40	814	6,7	36	42	10,2
9	20	1.530	4,8	17	32	6,3
10	200	810	8,3	46,5	32	11,4

Coefficient d'empilage pris égal à 0,46

Résultats par zone climatique (moyennes pondérées par surfaces de blocs)

N° Bloc	Surface (ha)	N/ha	G/ha (m^2/ha)	V/ha (m^3/ha)	Pluv. (mm)
1 à 4	110	1.201	6,5	30,5	1.050
5 à 8	140	614	6,4	37,5	900
9	20	1.530	4,8	17,0	750
10	200	810	8,3	46,5	1.200

Cas n° 4

CAMEROUN -

1 - Estimation du potentiel en bois de feu de deux blocs d'une superficie totale de 3.661 ha.

Situation géographique : Est de GAROUA, région de BIBEMI (Cameroun)

Référence : BERGONZINI (1981)

Pluviométrie moyenne : 1.000 mm

Type de végétation : savane arborée anciennement cultivée très dégradée par les feux.

Etude menée en 1979. Il s'agit d'une opération d'inventaire par sondage. Les parcelles de 50 x 25 m (12,5 ares) sont disposées en bandes continues équidistantes de 1.000 mètres, la surface totale des parcelles est de 91,5 hectares.

Comptage : les ligneux identifiés ont été comptabilisés par classes de hauteur de mètre en mètre jusqu'à 5 mètres et mesurés en circonférence et hauteur au delà de 5 m de hauteur. Les essences ont été ventilées en trois catégories selon leur aptitude comme bois de feu.

Volume : vingt cinq parcelles ont été choisies pour établir les tarifs de cubage. Dans chacune on a abattu puis débité en morceaux d'un mètre, tous les bois qui ont été classés en :

- gros bois si le diamètre au gros bout dépassait 5 cm
- petit bois dans le cas contraire

Cette distinction a permis de calculer séparément deux coefficients d'empilage pour les gros bois (0,43) et pour les petits (0,24).

Les tarifs de cubage sont des tarifs peuplement fonction des caractéristiques suivantes :

x_i nombre de tiges des différentes classes de hauteur de mètre en mètre jusqu'à 5 mètres

x_5 nombre de tiges de plus de 5 mètres

C circonférence moyenne des arbres de plus de 5 m de hauteur

H hauteur moyenne des arbres de plus de 5 m de hauteur

$V = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, C, H)$

Les régressions obtenues ne sont pas de très bonne qualité mais compte tenu de l'importance du sous-échantillon mesuré en volume (65 m^3) le résultat d'ensemble peut être jugé satisfaisant.

Les résultats sont : Volume à l'ha = 20,7 m^3
Effectif à l'ha = 928

Cas n° 4

Résultats détaillés selon les catégories

Unité : m³/ha	très bon bois de feu	bois de feu moyen	bois de feu médiocre
gros bois	9,96	2,38	4,64
petit bois	2,47	0,90	0,32
TOTAL	12,43	3,28	4,96

Coefficient d'empilage moyen (en pondérant) = 0,40

2 - Coupes expérimentales sur 2 blocs de 96 hectares chacun.

Situation géographique : massif forestier de NDONGA situé entre ADOUMRI et BIBEMI

Pluviométrie moyenne : 1.000 mm

Référence : MEURILLON (1980) et MEURILLON (1982)

Physionomie du peuplement : savane arborée très dégradée par les feux

Coupe effectuée en 1979-1980 sur 24 parcelles de 4 hectares

Selon trois hauteurs de coupe : 1 m, 0,30 m et ras du sol la même opération a été recommencée en 1981 sur la même superficie de 96 ha

L'empilage de la totalité du bois a été effectué séparément par parcelle. Le coefficient d'empilage n'a pas été mesuré. Il a été pris égal à celui obtenu sur l'étude menée en 1979 soit 0,40.

Résultats globaux en volume	1ère zone	12,6 m³/ha
	2ème zone	15,5 m³/ha
Surface terrière	1ère zone	3,5 m²/ha

Répartition des tiges par classes de hauteur en effectifs/ha

	<2 m	2-3m	3-4m	4-5m	5-6m	6-7m	7-8m	8-9m	9-10 m	>10m	Total
1ère zone	9	18	26	24	20	15	11	8	3	3	137
2ème zone	2	15	40	57	44	29	22	13	7	5	236

Cas n° 5

TANZANIE -

Inventaire d'une savane boisée à partir de caractéristiques mesurées sur photographies aériennes.

Situation géographique : région de TABORA en Tanzanie couvrant 3,2 millions d'ha de savane

Référence : TEMU (1981)

Type de station : savane miombo comportant quelques espèces exploitées en tant que bois d'oeuvre mais en majorité des bois de feu et de service

L'étude s'est déroulée en deux phases :

1ère phase -

Etablissement de tarifs de cubage individuels pour six espèces, les plus importantes dans la zone à inventorier.

Les tarifs de cubage essayés faisaient intervenir plusieurs paramètres individuels mesurés sur des arbres échantillons :

- diamètre à 1,3 m
- hauteur totale
- diamètre à la base des 4 plus grosses branches

Il s'est avéré que le diamètre à 1,3 m suffisait à lui seul pour expliquer les volumes auxquels on s'intéressait, à savoir :

Volume bois de feu = V_f

Volume total (bois d'oeuvre + bois de feu) = V_t

Les équations tarifs retenues sont du type

$$V_t = a + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 D^3 + b_4 D^4$$

et $V_f = a + b\ V_t$

2ème phase -

Inventaire sur 2.080 hectares.

Les photographies aériennes ont montré qu'on pouvait distinguer 6 sous-populations allant du terrain nu à des savanes boisées assez denses.

Les deux sous-populations ne contenant pas d'arbres ont été éliminées. Sur les quatre autres il a été choisi 100 points et mesuré sur photographies sur des cercles de 3,5 mm de diamètre :

. le pourcentage de couvert C en %

. la hauteur H en m

. le diamètre des cimes ou grappes de cimes, K en m

Cas n° 5

Simultanément sur tous ces points repérés sur le terrain il y a eu mesure du volume avec la technique du tour d'horizon facteur 1 et l'application des tarifs de cubage spécialement réalisés pour la circonstance dans la première phase.

Des calculs de régression linéaire multiples ont montré que le volume était relié au pourcentage de couvert C selon le modèle :

$V = a + bC$

Les autres variables H et K n'apportent pas d'amélioration dans l'évaluation du volume. Les quatre modèles obtenus pour les quatre sous-populations sont voisins mais différents.

A partir de ce résultat on a procédé sur un grand nombre de points photo à la mesure des pourcentages de couvert C' séparément pour chacune des quatre sous-populations et on en a déduit par application de l'équation ci-dessus le volume à l'hectare de chacune des quatre sous-populations. Il est bien souligné qu'il y a double échantillonnage pour chaque sous-population :

- l'échantillon qui sert à déterminer la régression linéaire $V = a + bC$ et pour lequel il y a une moyenne V et une moyenne C
- l'échantillon beaucoup plus important en nombre qui sert à déterminer une moyenne C' plus précise que C de laquelle on déduit une moyenne V' plus précise que V.

Le tableau des résultats obtenus ne fait pas apparaître au niveau des volumes une grande différence entre les quatre sous-populations comme cela devait logiquement résulter de leurs aspects différents sur photos aériennes.

Résultats

Type de savane	N/ha	G/ha (m^2/ha)	Volume m^3/ha bois de feu	TOTAL
jeune	308	11,6	86	120
par bouquets	310	10,3	73	93
fortement exploitée	313	11,8	84	116
faiblement exploitée	237	12,0	84	116

Effectifs à partir du diamètre 5 cm

TANZANIE -

Inventaire des ressources en bois de feu.

Situation géographique : 6 régions de la zone aride et semi-aride de Tanzanie : ARUSHA, NWANZA, SHINYANGA, TABORA, SINGIDA, DUDORA.

Référence : KAALE (1982).

L'inventaire en question a eu pour objectif de recenser les ressources en bois de feu disponibles pour 14 villages dans les 6 régions désignées. Il s'est déroulé entre Mars et Mai 1982.

L'échantillonnage s'est fait au niveau de chaque village de la manière suivante. Après une stratification en 5 catégories faite par des observations aboutissant à une cartographie, chaque strate a été échantillonnée par un transect partant du point central du village. 16 transects étaient tracés sur la carte (25^G d'angle entre 2) et pour chaque strate le transect retenu était

celui qui passait le plus près du centre de la strate. Les transects étaient arrêtés à la limite du village ou à 10 km si la limite n'était pas atteinte.

Des placettes circulaires de 4 ares étaient installées tous les 500 mètres et un dénombrement effectué en séparant les tiges en trois catégories :

1 diamètre > 15 cm avec mesure de diamètre

2 5 < diamètre < 15 cm

3 diamètre < 5 cm

Pour les catégories (2) et (3) construction de tables de cubage à partir d'un échantillon distinct pour chaque strate. Pour la catégorie (1) utilisation d'une table préexistante.

Résultats pour les 4 strates contenant des arbres

	Volume en m^3/ha			TOTAL
	Catégorie(1)	Catégorie(2)	Catégorie (3)	
Plantations	15,1	13,3	2,0	30,4
Forêt dense	95,2	8,1	2,5	105,8
Savane miombo	17,4	5,1	2,3	24,8
Savane arborée	7,6	2,4	2,3	12,3

Les conclusions que l'on peut tirer de cette étude sont :

- méthode d'échantillonnage intéressante parce que simple à mettre en oeuvre et directement appliquée au but recherché

- chiffres de volume à l'hectare faibles comparativement à ceux obtenus dans les savanes de ce type en Tanzanie (cf. étude TEMU).

Cas n° 6

NIGERIA -

Inventaire de 275.000 hectares dans la zone de savane intermédiaire (Derived Savanna Zone).

Situation géographique : JEBBA

Référence : travaux menés par une compagnie papetière et cités dans le rapport de ABAYOMI, J.O.

Le volume évalué jusqu'à 10 cm de diamètre fin bout se trouve situé entre 20 et 50 m^3/ha.

Cas n° 7

HAUTE-VOLTA -

Evaluation de la végétation ligneuse et identification des zones boisées pouvant se prêter à un aménagement productif.

Référence FO : DP/UPV/78/004.

Rapport technique n° 3 préparé par CAMERATTI A.G.

Cet inventaire qui a couvert la totalité de la superficie du territoire de Haute-Volta, a été réalisé selon un plan d'échantillonnage à deux degrés :

-71 unités primaires tirées au hasard

-11 unités secondaires (placettes de 0,25 ha) par unité primaire

Une interprétation des images Landsat sur la totalité du territoire a permis de déterminer une classification des formations qui soit compatible avec la classification faite au sol. Il a été distingué 7 types mais en fait après regroupements 3 types principaux se dégagent :

- savane arbustive et superficies brûlées	42 %
- savane arborée et forêt claire	19 %
- jachères et cultures	36 %

Il a été réalisé une carte au 1/200.000 et le calcul des superficies des formations a été effectué sur cette carte.

Tarifs de cubage -

La méthode du tarif peuplement a été écartée du fait de son caractère destructif, toutefois 450 arbres ont été abattus et cubés (volume total tiges + branches) pour calculer un tarif à deux entrées :

$V = 0{,}074 + 0{,}72\ D^2H$ V en m^3, D et H en m

L'application de ce tarif à deux entrées s'est faite en calculant séparément pour les formations savane arbustive et savane arborée deux régressions du modèle :

$H = a + bD + cD^2$ (1)

Classification selon l'usage -

Tous les arbres comptés (à partir du diamètre 7,5 cm) ont été classés selon leur utilisation potentielle :

1 - bois d'oeuvre diamètre $>$ 40 cm

2 - bois d'oeuvre diamètre $<$ 40 cm

3 - bois de service

4 - bois de feu

5 - production de fruits

L'utilisation potentielle étant une donnée globale au niveau de l'arbre il a été nécessaire d'établir une table de conversion permettant de répartir 1 m^3 classé dans une catégorie d'utilisation potentielle entre les différentes catégories d'utilisation effective. Cette conversion se fait à partir du tableau suivant :

(1) On remarquera que le même résultat serait obtenu plus directement en calculant par formation un tarif à une entrée

Cas n° 7

Utilisation effective

		1	2	3	4	5	TOTAL
Utilisation potentielle niveau arbre	1	31		27	42		100
	2		35	17	48		100
	3		4	46	50		100
	4				100		100
	5					100	100

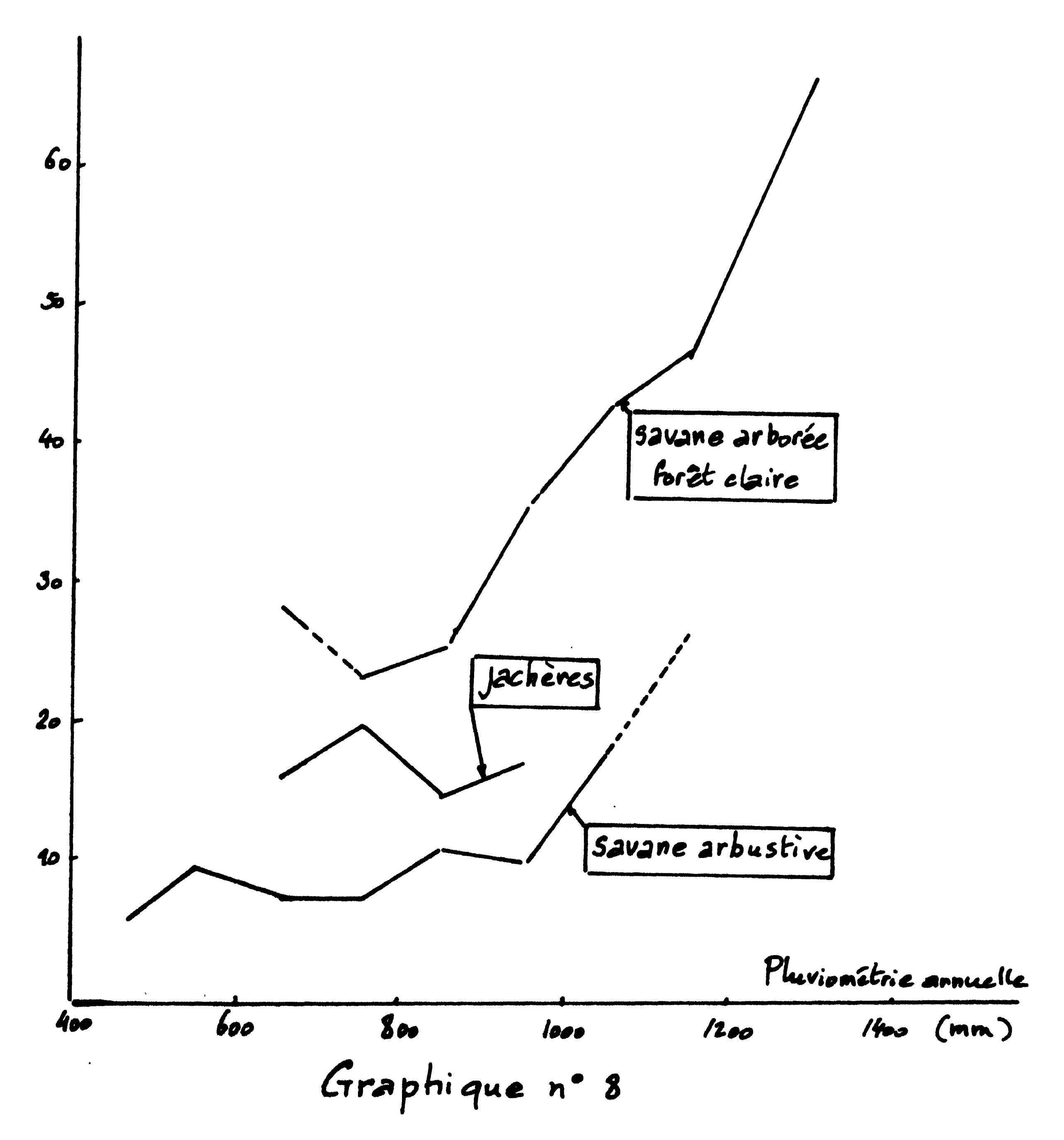
Table permettant de ventiler un volume de 100 m^3 classé en une utilisation potentielle entre les différentes classes d'utilisation effective.

Résultats -

Seuls ceux qui ont une portée suffisamment générale ont été reportés sur des graphiques volume à l'hectare et coefficient de variation en fonction de la pluviométrie. Les chiffres basés sur moins de 20 unités d'échantillonnage ont été écartés.

Accroissements -

Il n'a pas été fait de mesures de l'accroissement dans le cadre de l'inventaire lui-même. Ces mesures ont été faites et analysées par LILLELUND et ont conduit à des accroissements en volume par classe de pluviométrie et par type de formation.

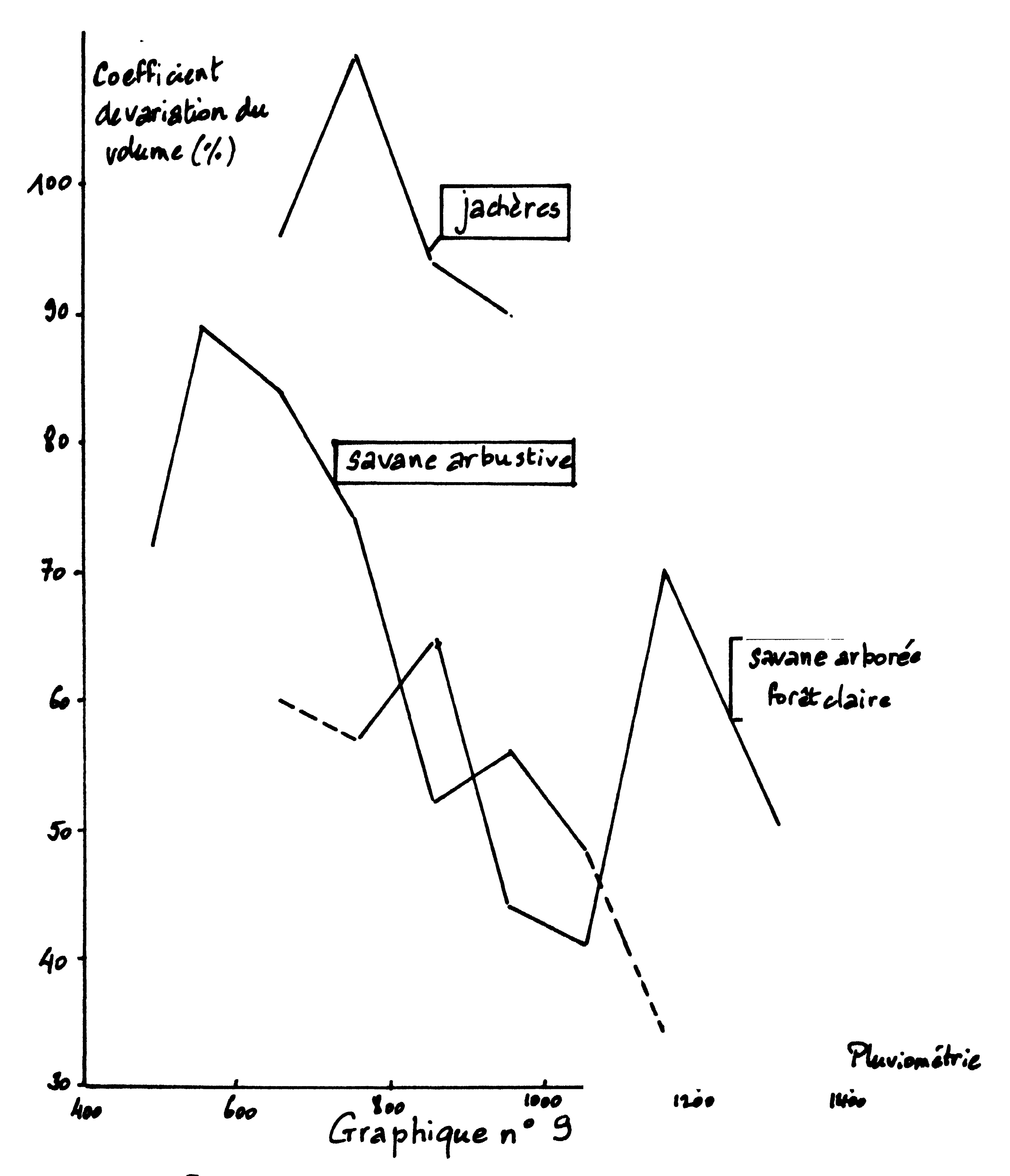


Graphique n° 8

INVENTAIRE EN HAUTE-VOLTA (Etude cas n° 7)

Volumes à l'hectare en fonction de la pluviométrie et du type de végétation

NB. : seuls figurent les chiffres basés sur au moins 20 placettes à l'exception des 2 prolongements en tireté.



Graphique n° 9

INVENTAIRE EN HAUTE-VOLTA (Etude de cas n° 7)

Coefficients de variation du volume sur placettes de 0,25 ha en fonction de la pluviométrie annuelle et du type de végétation

N.B. seuls figurent les chiffres basés sur au moins 20 placettes à l'exception des 2 prolongements en tireté

Expériences du Type 3

Cas n° 8

HAUTE-VOLTA -

Etudes de productivité de savanes naturelles portant un peuplement d'âge connu. Référence : C.T.F.T. rapports annuels Haute-Volta.

Ces études menées depuis 1963 concernent deux zones climatiques différentes :

- la zone soudanienne du Sud de la Haute-Volta. Localisation DINDERESSO et TOUMOUSSENI. La pluviométrie est 1200 mm

- la zone soudano-sahélienne du nord de la Haute-Volta. Localisation : GONSE et WAYEN. La pluviométrie est de 850 à 900 mm.

En 1963 mise en place d'un dispositif expérimental comportant 7 parcelles de 0,5 ha exploitées à blanc et enstérées après avoir réalisé sur 1/5 de la surface de chaque parcelle un inventaire complet de la végétation. Le but de ces dispositifs installés simultanément à :

- DINDERESSO
- TOUMOUSSENI
- GONSE

était d'étudier les effets des feux précoces. En fait, ils n'ont pas été suivis mais les peuplements initiaux étaient d'âge connu et l'enstérage a permis d'obtenir des chiffres de volume précis :

Résultats

	N/ha (d > 0)	N/ha (d > 4 cm)	G/ha (m^2/ha)	V/ha (m^3/ha)	Age
DINDERESSO	1.090	280	7,7	32,1	23
TOUMOUSSENI	-	-	-	31,2	25
GONSE	568	274	6,2	26,2	25

On a distingué dans ce tableau les effectifs toutes catégories de diamètre (d > 0) et des seules tiges de diamètre supérieur à 4 cm (d > 4 cm).

Le coefficient d'empilage non mesuré a été pris égal à 0,50.

En 1978 mise en place d'une parcelle expérimentale de 1 ha à GONSE et à WAYEN dans l'objectif d'étudier la régénération de la savane après une coupe à blanc dans le cas d'une protection totale.

En 1982 ces deux parcelles ont été mesurées à nouveau.

Cas n° 8

Evaluation du volume distinguant les tiges qui pouvaient être individualisées et mesurées et qui ont été mesurées à 1 m et à 2 m pour être cubées comme des troncs de cône.

Les tiges buissonnantes ont été classées selon une grille ; un volume a été affecté à chaque classe.

Résultats

	V/ha (m^3/ha)	Accroissement (m^3/ha/an)
GONSE	27,2	1,4
WAYEN	26,6	1,1

Le coefficient d'empilage non mesuré a été pris égal à 0,50.

Cas n° 9

ZAIRE -

Etude des âges et des croissances en diamètre dans une savane miombo.

Situation géographique : près de LUBUMBASHI, Zaire

Référence : MALAISSE (1978) cité dans rapport-source AA.

Il s'agit d'une étude dans le cadre du Programme International en Biologie. La placette d'étude avait une superficie de 0,125 ha. Il a été possible de donner une surface terrière :

$13{,}3\ m^2/ha$

et un accroissement de cette surface terrière 0,30 m^2/ha/an. Mais ces chiffres établis sur une aussi petite surface dans des formations aussi hétérogènes sont à prendre avec réserve.

Cas n° 10

MALAWI -

- Etude d'une savane 21 ans après une coupe à blanc -

Situation géographique : BUNDA, Malawi

Référence : cité dans le rapport source AA comme une communication personnelle.

Effectif à l'hectare = 2.192 (diamètre minimum non mentionné)

Surface terrière : 11,9 m^2/ha

Accroissement moyen annuel sur 21 ans : 0,57 m^2/ha/an

Volume à l'hectare : 73,5 m^3/ha

Le coefficient d'empilage choisi (0,60) n'a pas été mesuré. Il est jugé un peu fort par rapport aux chiffres usuels et par conséquent le résultat en volume est à prendre avec réserve.

- Etude de différents types de savane -

Situation géographique : MUA LIVULEZI, Malawi

Référence : cité dans rapport source AA comme une communication personnelle.

Différents types de savane ont été étudiés et mesurés mais les chiffres de surface terrière obtenus qui vont de 4,3 à 19 m^2/ha ne font que souligner l'hétérogénéité des conditions sans que l'on ait les éléments pour donner à ces chiffres une portée générale. Les mesures d'accroissement sur une période de 11 ans ne sont pas données car certaines mesures concluaient à la diminution de la surface terrière sur cet intervalle de temps. Cet exemple souligne le besoin dans ces opérations expérimentales, d'apporter la plus grande attention aux inventaires périodiques des peuplements.

Cas n° 11

NIGERIA -

- Etude d'une savane dans la zone sud-guinéenne -

Situation géographique : réserve forestière de MOKWA

Référence : ALLAN et AKWADA (1964), cité dans le rapport ABAYOMI

L'étude a été menée sur une superficie de 1,8 ha. Le comptage a été effectué à partir du diamètre minimum de 5 cm.

Effectif à l'hectare : 750

Surface terrière à l'hectare : 12,1 m^2/ha

Il s'agit ici d'une savane boisée dense se rapprochant du type forêt claire. Il n'y a aucun chiffre de volume.

- Etude d'une savane de la zone nord-guinéenne -

Situation géographique : Réserve forestière d'AFAKA, près de KADUNA.

Référence : KEMP 1963 cité par JACKSON et OJO (1971) et dans le rapport ABAYOMI

L'étude a été conduite sur 71 placettes de 0,3 ha.

Mesure des tiges à partir de 1,6 cm de diamètre :

Effectif à l'hectare des tiges de diamètre supérieur à 10 cm = 425
Effectif à l'hectare des tiges de hauteur supérieure à 6 m = 125
Surface terrière à l'hectare (toutes tiges comptées) = 7,1 m^2/ha
Volume (coefficient d'empilage non précisé) = 21,7 m^3/ha
Croissance en surface terrière sur 4 années : 0,24 m^2/ha/an

Un âge de 50 ans a été avancé par JACKSON et OJO pour calculer une production moyenne annuelle sur 50 ans de 0,43 m^3/ha/an mais ce chiffre est discutable car durant cette période de 50 ans il y a eu de la disparition de bois par mortalité et par les feux.

ZAMBIE -

Cas n° 12

Etude d'une savane "Miombo"

Situation géographique : NDOLA, Zambie

Référence : ENDEAN (1968) cité dans rapport source AA

Il s'agit d'une expérience installée en 1936 avec les traitements suivants :

1 - témoin non traité

2 - coupe de tous les arbres sauf ceux pouvant donner du bois d'oeuvre

3 - coupe des seuls arbres donnant du bois d'oeuvre

4 - coupe partielle (éclaircie) parmi les arbres dominants sans toucher au sous-étage

Les mesures ont été effectuées à partir du diamètre 5 cm dans le placeau témoin et l'on a obtenu :

- Surface terrière à l'hectare = 16,1 m^2/ha

- Accroissement moyen annuel sur une période de 20 ans = 0,15 m^2/ha/an

Dans les autres placeaux, les volumes au bout de 20 ans étaient répartis comme suit (coefficient d'empilage utilisé.probablement 0,60 mais il n'a pas été mesuré.)

Volume bois d'oeuvre (m^3/ha)	Volume bois de feu (m^3/ha)	Volume total (m^3/ha)
36,3	143,4	179,7
25,2	35,9	61,1
38,6	63,3	101,9

Ces chiffres même si l'on doit émettre quelques réserves du fait du coefficient d'empilage, montrent que ce type de savane se situe parmi les types productifs.

Cas n° 13

GHANA -

Etude d'une savane

Situation géographique : réserve de chasse Mole

Référence : LAWSON & al. (1968) cité dans rapport source AA

Type de station : zone nord-guinéenne

Il s'agit de l'étude d'une série de placettes disposées en toposéquence depuis le sommet d'une colline jusqu'au fond de la vallée.

Du point de vue végétation on retrouve les espèces de la zone nord-guinéenne (Isobertinia doka, Terminalia aviennades).

Les placettes au nombre de 6 mesuraient 0,25 ha chacune.

Résultats

	N/ha	G/ha (m^2/ha)
Sommet colline	840	4,9
Mi-Pente	1.042	9,4
Fond de vallée	496	9,6

Cas n° 14

NIGERIA -

Etude de la composition d'une savane boisée.

Situation géographique : réserve forestière d'OLOKEMEJI, Nigéria.

Référence : HOPKINS (1962) cité dans rapport source AA

Il s'agit ici d'une étude comparative des deux types de végétation présents dans la Réserve Forestière d'OLOKEMEJI.

- forêt semi-décidue
- savane boisée : intermédiaire résultat des feux

Les deux zones avaient été antérieurement cultivées.

Deux placettes de 0,25 ha ont été implantées dans chaque site, distantes de 5,5 km.

Le tableau ci-après résume les conclusions.

	Forêt		Savane	
	N/ha	G/ha (m^2/ha)	N/ha	G/ha (m^2/ha)
Arbres de + de 10 m de haut	424	25	48	2,5
Arbres entre 5 et 10 m	196	2,1	260	4,4
Arbustes de - 5 m	3.520	1,5	2.368	0,8
TOTAL	4.140	28,6	2.924	7,7

Il faut noter qu'en forêt seuls les arbustes de plus de 1,5 m ont été comptés tandis que dans la savane toutes les tiges ont été comptées.

Il y a été constaté une plus grande richesse floristique de la forêt.

Cas n° 15

BRESIL -

Etude de la végétation des cerrados.

Situation géographique : très vaste région concernée par ce type de formation, la majeure partie se trouve au Brésil.

Référence : CARNEIRO 1982

Cette étude apporte des renseignements sur la structure et la composition des différents types de cerrados avec des courbes de distribution des hauteurs et des diamètres.

Il est proposé deux tarifs de cubage en fonction de la surface terrière et un coefficient d'empilage de 0,7 :

$V = 6{,}3\ G$ ou $V = 8\ G - 12$ — V en m^3/ha, G en m^2/ha

mais les dispositifs ayant servi à les établir ne sont pas relatés.

Cas n° 16

NICARAGUA -

Etude d'approvisionnement en bois de feu de la région Las Maderas.

Situation géographique : région de Las Maderas située à proximité de la ville de MANAGUA (Nicaragua) et couvrant 68.000 hectares.

Latitude : 12° Nord.

Référence : PARK, NEWMAN, FORD (1982).

Type de station : Pluviométrie de 1000 mm (850-1150)

Région de pâturage extensif au milieu d'une savane boisée

Sols argileux d'origine volcanique considérés comme inaptes à une production agricole sur 90 % de la surface (argiles gonflantes donnant d'importantes fentes de retrait)

La région est soumise à une exploitation de bois de feu intensive pour l'approvisionnement de la ville de MANAGUA (650.000 habitants).

L'étude devait porter sur deux sites :

1 - savane boisée (La Concha)

2 - savane arborée (San Antonio)

Trois placettes de 5 ares sur chaque site.

Mesure de tous les diamètres à partir de 3 cm et comptage des tiges plus petites

Site	N/ha	G/ha (m^2/ha)	V/ha (m^3/ha)
1 - La Concha	1.880-3.300	6,7 - 10	50
2 - San Antonio	940-1.120	5,9 - 8	-

Ce qui est surprenant dans cette étude c'est la rotation des coupes qui, tous les trois ans enlèveraient la moitié des tiges.

Il a été constaté en effet que la croissance baissait sensiblement vers l'âge de 10 ans et qu'il fallait donc couper assez tôt : "la moyenne d'âge des formations forestières sèches de la région de Las Maderas peut être inférieure à 6 ans".

L'auteur avance dans ces conditions un chiffre de production considérable de 8,5 m^3/ha/an.

Ici encore il faut émettre des réserves car le dispositif d'étude présente des défauts :

- superficie et nombre de placettes faibles
- absence de mesure de volume par abattage et enstérage
- manque de recul pour juger de l'évolution de la placette.

Cas n° 17

INDE -

- Renseignement extraits du rapport SINGH, S.P. -

Forêt et savane sèches couvrant en Inde 29 millions d'hectares soit 38 % de la superficie forestière totale. La totalité de cette surface est aménagée et gérée par le Service Forestier.

Les chiffres qui suivent sont donc des chiffres moyens obtenus sur de grandes surfaces. Ce ne sont pas des résultats de parcelles expérimentales.

Conditions de milieu et de végétation

	Pluv. (mm)	Altitude (m)	Type de forêt
KHANDWA-Nord	987	300 - 750	Forêt à Tectona grandis sèche et très sèche Forêt mélangée décidue sèche du Sud
BHARATPUR	650	400 - 700	Forêt mélangée décidue sèche du Nord Forêt à Anogeissus pendula Forêt désertique à épineux
DUDHI	1.000	215 - 400	Forêt à Shorea robusta Forêt ripicole Forêt mélangée sèche du Nord

Chiffres de production moyenne annuelle (m^3/ha/an)

Division	Surface (milliers d'ha)	Période	Bois d'oeuvre	Bois de chauffage	Bois carbonisé	Total
KHANDWA-Nord	224	1956-1964	0,095	2,230		2,325
BHARATPUR	244	1976-1978		0,041	0,005	0,046
DUDHI	143	1965-1972	0,081	0,136	0,241	0,458
DHULIA	132		0,062	0,029	0,007	0,098
RAJPIPLA	170	1959-1970	0,111	0,138	0,488	0,737
CENTRAL-CHANDA	77	1960-1964	0,025	0,322		0,347

On remarquera que du fait de l'importance des surfaces les chiffres sont faibles par rapport à ceux obtenus dans des dispositifs expérimentaux de petite surface. En outre la totalité du bois de chauffage n'est pas enregistrée.

Cas n° 17

D'autres chiffres issus de ce rapport concernant la production montrent qu'il y a de fortes différences selon le type de travaux effectués.

Production dans la Division Tiruchirappalli	
zone en reconstitution	2,68 t/ha
zone en exploitation bois de feu	12,94 t/ha
zone plantée en Casuarina	38,86 t/ha

Cas n° 18

INDE -

DUDHI FOREST DIVISION

Référence : SINGH, S.P.

Superficie = 143.063 hectares

Description -

C'est une forêt riche en Shorea robusta ; zone de collines dont l'altitude varie de 215 à 400 m. La pluviométrie est de 1.000 mm avec un été long et très chaud (42°6 de moyenne pour le maximum de Mai).

Aménagement -

La majeure partie de la forêt est traitée selon le schéma général de marquage de réserves et recépage ; la rotation est de 30 ans ; les règles particulières suivantes sont applicables :

a) 15 espèces doivent être systématiquement réservées pour l'une ou l'autre raison :
- production de fruits (manguier.....)
- nichage des oiseaux (Ficus et Bridelia)
- production de gomme (Sterculia urens)
- 5 espèces rares (Teck, Gomelmier, Gmelina, Dalbergia sissoo)

Parmi elles une espèce est coupée à partir du diamètre 30 et les 5 espèces rares sont coupées à partir du diamètre 40.

b) Les taches de bambous sont préservées.

c) 6 espèces sont marquées en pré-réserve en dessous du diamètre 10

d) 25 à 50 tiges par hectare de ces mêmes 6 espèces sont marquées en réserve entre les diamètres 10 et 18 cm

Inventaire des peuplements

	Effectifs à l'ha par classe de diamètre							Surface terrière (m²/ha)
	<10cm	10-20	20-30	30-40	40-50	> 50cm	ttes	
Shorea robusta	14,2	16,5	5,6	0,7	0,1		37,1	0,69
Espèces ayant un intérêt économique	77,6	70,9	19,5	5,9	2,4	1,1	177,4	3,58
Autres espèces	35,8	16,5	4,9	1,6	0,6	0,4	59,8	0,95
Toutes espèces	127,6	103,9	30,0	8,2	3,1	1,5	274,3	5,22

Cas n° 18

Evolution des peuplements entre 1964 et 1972

	Effectifs à l'ha des arbres de plus de 10 cm	
	1964	1972
Shorea robusta	33,5	22,2
Acacia catechu	16,7	18,5
Boswellia serrata	18,6	14,0
Lannea coromandelica	5,3	4,6
Autres espèces	149,8	97,9
Total	223,9	157,2

Cette dégradation s'explique par l'exploitation consécutive à l'implantation de complexes industriels dans la région.

TABLEAUX RECAPITULATIFS DES RESULTATS OBTENUS

DANS LES ETUDES RELATEES

LOCALISATION	REFERENCE	TYPE DE SAVANE	Pluv. (mm)	Surface (ha)	Age (années)	Effectif à l'ha	Diam. mini. (cm)	Rapport Volume / Surface terrière (m)	Surface terrière (m^2/ha)	Volume plein (m^3/ha)	Coef. empilage	Accroissements Surface terrière (m^2/ha/an)	Accroissements Volume (m^3/ha/an)	Période mesure accrois. (années)
CAMEROUN Ndonga	MEURILLON 1980 et 1982	savane arborée très dégradée inventaire et coupe inventaire et coupe	1 000	96 96		142 242	6 6	3,7	3,50	12,6 15,5	0,40 0,40			
CAMEROUN Bibemi Est de Garoua	BERGONZINI 1981	savane arborée très dégradée inventaire par sondage	1 000	61/2830 18/830		942 880				21,0 19,5	0,40 0,40			
HAUTE-VOLTA Dinderesso	C.T.F.T.-H.V. Rapports annuels	zone soudanienne	1 200	3,5	23	5 440	0	4,2	7,67	32,1	0,50		1,40	23
HAUTE-VOLTA Toumousseni	C.T.F.T.-H.V. Rapports annuels	zone soudanienne	1 200	3,5						31,2	0,50		1,25	25
HAUTE-VOLTA Gonsé	C.T.F.T.-H.V. Rapports annuels	zone soudano-sahélienne	900	3,5 1,0		2 840	0		6,20	26,1 21,4	0,50 0,50		1,04 1,4	25 4
HAUTE-VOLTA Wayen	C.T.F.T.-H.V. Rapports annuels	zone soudano-sahélienne	850	1,0		2 309				26,5	0,50		1,1	4
R.C.A. Bambari	Ministère des E. et F. - R.C.A. 1980	savane arborée situation iniale .... 18 ans après coupe	1 550	0,4/13 0,4/13 1,5/13		6 000	0			22,0 53,7 57,2	0,50 0,50 0,50		3,0 3,2	18 18
R.C.A. Bambari	NOUVELLET 1983	savane très dégradée coupée à blanc	1 550	4,64		2 238	0			9,4	0,56			
MALI Forêt des Monts Mandingues	MOREL cité dans CLEMENT, J. 1982	savane dans différentes conditions	1 050	110		1 201			6,5	30,5	0,46			
Forêt de la Faya			900	140		614			6,4	37,5	0,46			
Forêt de Diofo-rongo			750	20		1 530			4,8	17,0	0,46			
Forêt de Bougouni-Foulab.			1 200	36/200		810			8,3	46,5	0,46			
MALI Forêt des Monts Mandingues	MOREL cité dans CLEMENT, J. 1982	coupe à blanc	1 050	4 10				5 0 4,9	6,80 5,84	34,0 28,9	0,50 0,46			

Surface = 1,5/13 signifie qu'il a été effectué une étude sur 13 ha par sondage sur 1,5 ha

LOCALISATION	REFERENCE	TYPE DE SAVANE	Pluv. (mm)	Surface (ha)	Age (années)	Effectif à l'ha	Diam. mini. (cm)	Rapport Volume / Surface terrière (m)	Surface terrière (m²/ha)	Volume plein (m³/ha)	Coef. empilage	Accroissements Surface terrière (m²/ha/an)	Accroissements Volume (m³/ha/an)	Période mesure accrois. (années)
NIGERIA Anara	ONOCHIE 1961	zone Nord-Guinéenne	1 250											
		1ère coupe à blanc		2,0						39,0	0,31			
		2ème coupe à blanc(21 ans après)		2,0	21					26,1	0,31		1,24	21
		témoin non coupé		0,8						50,0	0,31			
NIGERIA Bakura-Tureta	ONOCHIE 1964	zone soudanienne	730											
		témoin non coupé		5,5						25,1	0,31			
		21 ans après coupe		11,0	21					22,0	0,31		1,05	21
NIGERIA Nimbia	JACKSON & OJO 1971	Derived savanna								19,6				
ZAMBIE Ndola	ENDEAN 1968	savane "miombo" témoin							16,1	-				
		différents traite-			20				-	179,7			9,0	20
		ments sylvicoles			20				-	61,1			3,1	20
					20				-	101,9			5,1	20
MALAWI Bunda	ABAYOMI, J.O. 1982	savane boisée 21 ans après coupe à blanc				2 192		6,2	11,9	73,5	0,60	0,57	3,5	21
NIGERIA Afaka	KEMP 1963	savane boisée zone nord-Guinéenne		2,1 21,3	50	425	9,7		7,1	9,1-36,4		0,24		
NIGERIA Mokwa	ALLAN & AKWADA 1974	savane boisée zone sud-guinéenne		1,8/16,4		750	5		12,1					
NIGERIA Olokemeji	HOFKINS 1962	savane boisée dégradée		0,25		2 924			7,7					
GHANA Mole Game Reserve	LAWSON & al 1968	savane boisée versant		1,00		1 042	0		9,4					
		sommet		0,25		840	0		4,9					
		thalweg		0,25		496	0		9,6					
ZAIRE I.B.P. Research Site	MALAISSE 1978	savane "miombo"		0,125					13,3			0,39		4
AFRIQUE DU SUD Nylsvley Nature Res	GRUNOW & al.	savane arborée							6 à 12					
MALAWI Mua Livulezi	ABAYOMI, J.O. 1982	savane à bambous					9,5		15,9			0,20		11
		savane arbustive à épineux							6,7			-		-
		" boisée avec bambous							11,2			0,25		11
		" boisée							19,0			-		-
		" boisée							15,0			0,21		11
		" arborée							4,3			0,47		11

Surface = 1,5/13 signifie qu'il a été effectué une étude sur 13 ha par sondage sur 1,5 ha

LOCALISATION	REFERENCE	TYPE DE SAVANE	Pluv. (mm)	Surface (ha)	Age (années)	Effectif à l'ha	Diam. mini. (cm)	Rapport Volume / Surface terrière (m)	Surface terrière (m²/ha)	Volume plein (m³/ha)	Coef. empilage	Accroissements Surface terrière (m²/ha/an)	Accroissements Volume (m³/ha/an)	Période mesure accrois. (années)
TANZANIE Régions : Arusha, Nwanza, Tabora, Shinyanga, Singida, Dudora	KAALE 1982	zone aride et semi-aride												
		savane miombo								24,8				
		savane arborée								12,3				
		forêt..								105,8				
BRESIL	CARNEIRO 1982	cerrados						6,3			0,70			
NICARAGUA Las Maderas	PARK & al. 1982	savane boisée	850			1880-3300			6,7-100	50,0			8,5	
		savane arborée	1 150			940-1120			5,9-8,0					
TANZANIE Région de Tabora	TEMU 1981	savane miombo		2 080		292	5	7,1	11,4	81,0				
INDE Dhulia Div. Hill block	SINGH, S.P. 1982	Forêt sèche												
		situation en 1921............................				241	10		10,8					
		" en 1960............................				246	10		8,1					
INDE Dhulia Div. Deomogra block	SINGH, S.P. 1982	" en 1935............................				93	10		3,3					
		" en 1960............................				251	10		8,9					
GODAVARI	SINGH, S.P. 1982	coupes d'amélioration				39-56	10	6,5	4,1	26,6				
		recépage du taillis				332	10		12,5					
RAJPIPLA	SINGH, S.P. 1982	recépage taillis				223	10		7,6					
		protection				133	10		6,3					
CENTRAL.CHANDA	SINGH, S.P. 1982	surfaces traitées				467	10		13,3					
		surfaces non traitées				243	10		11,9					
DUDHI	SINGH, S.P. 1982	forêt sèche à Shorea robusta	1 000			146,7	10		5,2					

BIBLIOGRAPHIE

1 - OUVRAGES GENERAUX TRAITANT DE DENDROMETRIE ET D'INVENTAIRES FORESTIERS -

ALDERS, D (1979) Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers. Vol. 2 - Etude et prévision de la production. Etude F.A.O. : Forêts n° 22/2

CAILLIEZ, F (1980) Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers. Vol. 1 - Estimation des volumes. Etude F.A.O. : Forêts n° 22/1

DUPLAT, P & PERROTE, G (1981) Inventaire et estimation de l'accroissement des peuplements forestiers. Office National des Forêts. France

LANLY, J.P. (1973) Manuel d'inventaire forestier. Etude F.A.O. : Forêts n° 27

LOETSCH, F & HALLER, K.E. (1973) Forest Inventory. Vol. 1

LOETSCH, F ; ZOHRER, F & HALLER, K.E. (1973) Forest Inventory. Vol. 2

PARDE, J (1961) Dendrométrie

2 - OUVRAGES DONNANT DES INFORMATIONS SUR LES FORMATIONS FORESTIERES SECHES CLASSEES PAR REGION ET PAYS -

NIVEAU MONDIAL OU LOCALISATION NON PRECISEE

CHEHOCK, C.R. (1980) Using photopredictions, point sampling and dendrometry for timber volume. Arid Land resource inventories workshop. La Paz MEXICO

LANLY, J.P. (1982) Les ressources forestières tropicales. Synthèse mondiale. Projet d'évaluation des ressources forestières tropicales FAO/PNUE. F.A.O. : Forêts Etude n° 30

MONTALEMBERT (de) & CLEMENT, J (1982) Disponibilités de bois de feu dans les pays en développement. F.A.O.

U.S.D.A. FOREST SERVICE Arid Land Resource Inventories. Developing cost efficient methods. Workshop. U.S.D.A. Forest Service General Technical Report W.O. 28 - 620 p. WASHINGTON, D.C.

AFRIQUE

F.A.O. (1981) — Les ressources forestières de l'Afrique tropicale. Résumés par pays. Projet d'évaluation des ressources forestières tropicales F.A.O./PNUE

GRIFFITH, A.L. (1961) — Les forêts claires sèches d'Afrique au sud du Sahara. Unasylva Vol. 15

LANLY, J.P. & CLEMENT, J (1980) — Les ressources forestières de l'Afrique tropicale. Synthèse régionale. Projet d'évaluation des ressources forestières tropicales F.A.O./PNUE

CAMEROUN

BERGONZINI (1981) — Rapport provisoire de l'inventaire N.O. BENOUE - C.T.F.T.

MEURILLON (1980) — Rapport annuel Campagne 79-80. Projet N.O. BENOUE - C.T.F.T.

MEURILLON (1982) — Rapport sur projet N.O. BENOUE - C.T.F.T.

REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE

MINISTERE DES EAUX ET FORETS R.C.A. — Rapport annuel des activités de recherche 1979

NOUVELLET (1983) — Etude d'une savane parcourue annuellement par le feu dans la région de BAMBARI - C.T.F.T.

O.N.F. REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE (1980) — Projet d'aménagement des savanes de BAMBARI pour la production de bois de feu et de service

TILLON (1961) — Etude d'une parcelle de savane mise en défens. Bois et Forêts des Tropiques. C.T.F.T.

COTE D'IVOIRE

MENAUT, J.C. & CESAR, J (1979) — Structure and primary productivity of Lamto savannas, Ivory Coast. J. Ecol. 60 (6)

GHANA

LAWSON, G.W., JENIK, J & ARMSTRONG-MENSAH, K.O. (1968) — A study of a vegetation catena in Guinea Savanna at Mole Game Reserve (Ghana) J. Ecol. 56 (2)

MALI

MOREL (1981) — Contribution à l'étude des formations boisées soudaniennes en République du Mali. Rapport non publié

SANKARE (1979) — Analyse de la consommation et des besoins en combustibles ligneux du district de BAMAKO. Rapport de synthèse. Institut Polytechnique Rural de KATIBOUGOU

NIGERIA

ALLAN, T.G. & AKWADA, E.C.C. (1974) — Land clearing trials at Mokwa Forest Reserve, North West State. Paper presented at the fifth annual conference of the Forestry Association of Nigeria, Jos, Dec. 1974

GRAVSHOLT, S ; JACKSON, J.K. & OJO, G.O.A. (1967) — Provisional tables for growth and yield of neem (Azadirachta indica) in Northern Nigeria. Savanna For. Res.Stn. Res. Paper n° 1

HOPKINS, B.(1962) — Vegetation of the Olckemeji Forest Reserve. General features of the reserve and the research sites. J. Ecol. 50 (3)

JACKSON, J.K. & OJO, G.O.A. (1971) — Productivity of natural woodland and plantations in the savanna zones of Nigeria. Nig. Journ. of Forestry 1 (2)

KEAY & CHARTER (1960) — Assessment of the Olokemeji fire control experiment (Inv. 254) 28 years after constitution. Niger. For. Inf. Bull. (New series) 3, 1-32

KEMP, R.H. (1963) — Growth rates and regeneration of Northern Guinea Savanna Woodland. Dept. For. Res. Nigeria Tech. Note n° 24

OLA-ADAMS, B.A.(1981) — Effects of controlled burning on soil and vegetation in the derived savanna of Olokemeji Forest Reserve, Nigeria. Nig. Journal of Science Vol. 14

ONOCHIE, C.F.A.(1961) — A report on the fire control experiment in Anara forest reserve. Dept. For. Res. Nigeria Tech. Note n° 14

ONOCHIE, C.F.A.(1964) — An experiment in controlled burning in the Sudan Zone. Proc. Ist Nigerian For. Conf. KADUNA 1964 : 131-155

SENEGAL

MARIAUX (1966) — Etude des couches d'accroissement du Kad (Acacia albida). C.T.F.T.

GIFFARD (1974) — L'arbre dans le paysage sénégalais. C.T.F.T.

TANZANIE

KAALE, B.K. (1982) Tanzania fuelwood supply survey.First progress report

TEMU, A.B. & PHILIP, M.S. (1981) Sampling woodland for fuelwood. Paper presented of the 17 th I.U.F.R.O. World Congress (KYOTO, Japan)

TEMU, A.B. (1979) Estimation of millable timber volume in miombo woodlands. Univ. of Dar es Salaam, Division of Forestry, Record n° 7, 1979

TEMU, A.B. (1981) Double sampling with aerial photographs in estimating wood volume in Miombo woodlands. Record n° 22. Division of Forestry Univ. of Dar es Salaam

HAUTE-VOLTA

CAMERATTI, A.G.(1982) Rapport technique n° 3. Inventaire forestier National de Haute-Volta. Projet forestier UPV/78/004 - F.A.O.

C.T.F.T. HAUTE-VOLTA (1964) Rapport annuel 1963

C.T.F.T. HAUTE-VOLTA (1979) Rapport annuel 1978

C.T.F.T. HAUTE-VOLTA (1978) Compte-rendu d'activité 1977

C.T.F.T. HAUTE-VOLTA (1982) Rapport annuel 1981

C.T.F.T. HAUTE-VOLTA (1982) Recherches d'accompagnement au projet de reboisement A.V.V. ; Rapport analytique des essais Linoghin - Wayen 1981

LILLELUND (1981) Etude de la productivité des formations naturelles de Haute-Volta. Rapport F.A.O.

MARIAUX (1964) Etat actuel des connaissances sur la détermination de l'âge des arbres en Haute-Volta. C.T.F.T.

MARIAUX (1979) Nature et périodicité des cernes dans les arbres de zone tropicale sèche en Afrique de l'Ouest. C.T.F.T.

PANZER, K.F. & RHODY, B (1980) Applicability of large scale aerial photography to the inventory of natural resources in the Sahel of Upper Volta. Arid Land resources inventories workshop. La Paz - MEXICO

SAMYN (1979) Note sur la forêt de Toumousseni. Projet forestier UPV/78/004. F.A.O.

ZAIRE

MALAISSE, F. (1978) The miombo ecosystem. Tropical forest ecosystems. Natural Resources Research XIV, Unesco, p. 589-606

ZAMBIE

ENDEAN, F (1968) The productivity of "miombo". Woodland in Zambia. Forest Research Bulletin n° 14. Ministry of Natural Resources and Tourism, Republic of Zambia

AMERIQUE TROPICALE

CARNEIRO, C.M.R.(1982) A vegetação dos cerrados : analise e perspectivas; in Boletim Tecnico (I.B.D.F.) n° 7. Dec. 1982

F.A.O. (1981) Los recursos forestales de la America Tropical
Synthèse régionale et résumés par pays
Projet d'évaluation des ressources forestières tropicales
F.A.O./PNUE

PARK W. ; NEWMANN, L.C. & FORD, K (1982) Fuelwood supply for Managua, Nicaragua. Sustainable alternatives for the Las Maderas fuelwood supply region

RUIZ, A.M. ; ENRIQUEZ, M.Q. & OLIVAS, G.R. (1981) Ensayo de Cinco esquemas de muestro applicados al inventario de "Datillo" (Yucca valdia) y "Cardon" (Pachycereus pringlei) in. Arid Land Resource Inventories : developing Cost Efficient methode. La Paz, MEXICO

ASIE

ALEEM, S.A.(1981) Village forest inventory of Bangladesh. Tariff on trees-volume, bamboo-weight F.A.O. - UNDP/F.A.O. Project BGD78/020. Field Document n° 3

CHAMPION, H.G. & SETH,S.K. (1968) A revised survey of forest types of India, Manager of Publications, Delhi-6, 1968

DALVI, M.K. & GHOSH, R.C. (1981) Tree planting and environmental conservation, Extension series - 6, F.R.I. & Colleges, Dehradun, 1981

F.A.O. (1981) Forest Resources of Tropical Asia. Regional synthesis and Country briefs. Tropical forest resources assessment project F.A.O./U.N.E.P.

GHOSH, R.C. & SINGH, S.P. (1981) Trends in rotation, Indian Forester, Vol. 107, No. 6, June, 1981

HAMMERMASTER, E.T. (1981) Village forest inventory of Bangladesh Inventory manuals. F.A.O. U.N.D.P./F.A.O. Projet BGD 78/020. Field Document n° 2

KALLA, J.C. (1977) Statistical evaluation for fuel yield and morphological variates for some promising energy plantation tree species in Western Rajasthan. Annals of Arid zone 16 (1)

KRISHNA, S. & RAMASWAMI, S. (1932) — Calorific values of some Indian woods, Forest Bulletin n° 79 (Chemistry series), Central Publication Branch, Govt. of India, CALCUTTA, 1932

LIMAYE, V.D. & SEN, B.R. (1956) — Weight and specific gravities of Indian woods, Indian Forest Records(New series), Timber Mechanics, Vol. 1 n° 4, Manager Govt. of India Press, New Delhi, 1956

NAGABHUSHANAM, T. (1975) — Working plan for Nizamabad forest division for the years 1976. 1985, Nizamabad 1975

RAO, N.R. (-) — Management plan for the Godavari Industrial catchment, 1978 - 79 to 1984 - 85, Rajahmundry

SALDANHA, THIRU A. (-) — Working plan for the Ramanathapuram forest division, 1974 75 to 1983 - 84, office of the Chief conservator of forests, Madras, Tamil Nadu

SINGH, S.P. (1980) — Growth and yield of Sal in Taungya plantations of Gorakhpur forest division, Indian Forester, Vol. 106, N° 7, 1980

SINGH, S.P. (under print) — Growth studies of Acacia nilotica. Indian forester

ANONYME (1975) — Pre-investment survey of forest resources, East Godavari (A.P.), Field inventory procedures, Technical report n° 1, Govt. of India, Ministry of Agriculture & Irrigation (P.I.S.), Dehradun, 1975

ANONYME (1970) — Growth and yield statistics of common Indian timber species (plain region), Vol. II, F.R.I. & Colleges, Dehradun, 1970

110 62